

TA

2

.S4

SMAS

SOCIÉTÉ
DES
INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiées dans le Bulletin.

MÉMOIRES
ET
COMPTÉ-RENDU DES TRAVAUX
DE LA
SOCIÉTÉ
DES
INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

ANNÉE 1854

Paris
RUE BUFFAULT, 26

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
University of Ottawa

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(Janvier, Février et Mars 1854.)

N° 24

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

- 1° Installation du nouveau président (V. le résumé des séances, page 1);
- 2° Incombustibilité de nouvelles caisses de finances (V. le résumé des séances, page 5);
- 3° Valeur comparative des aciers français et des aciers anglais (V. le résumé des séances, pages 9 à 14);
- 4° Télégraphie électrique (V. le résumé des séances, pages 14 à 32 et 41 à 46);
- 5° Emploi de la fécula dans les fonderies de bronze (V. le résumé des séances, page 32);
- 6° Emploi du caoutchouc vulcanisé dans les chemins de fer (V. le résumé des séances, page 37);
- 7° Prise d'eau dans les rivières pour l'alimentation des chaudières (Voir le résumé des séances, page 47);
- 8° Accumulation des neiges sur les chemins de fer (V. le résumé des séances, page 47).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Félix Mathias, membre de la Société, un Mémoire sur l'exploitation des chemins de fer allemands a une seule voie ;

2° De M. Nozo, membre de la Société, une Note sur l'incombustibilité de nouvelles caisses de finances ;

3° Du même, une Note sur le dressage des pièces de mécanique après la trempe ;

4° De M. Ebray, membre de la Société, un Mémoire sur l'étude géologique et la paléontologie de l'arrondissement de Poitiers ;

5° De M. Debonnefoy, membre de la Société, une Note sur les rondelles en caoutchouc vulcanisé ;

6° De M. Bevan de Massy, une Note sur les divers tracés proposés pour le chemin de fer de Bayonne à Madrid ;

7° De M. Tom Richard, un exemplaire de son aide-mémoire des ingénieurs.

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de Janvier,

M. PINAT, présenté par MM. Loustau, Thomas et Cornet.

M. FROMONT, présenté par MM. Callon, Girard et Le Roy.

M. VAILLANT, présenté par MM. La Salle, Michelant et Loustau.

M. ANDRAUD, présenté par MM. Degousée, Vuigner et Eug. Flachat.

M. LEPELERIN, présenté par MM. Love, Bellier et Mathieu.

Au mois de Mars,

M. MATHIEU, présenté par MM. Petiet, Loustau et Boutmy.

M. BERTON, présenté par MM. Eug. Flachat, Mathieu et Molinos.

M. JOUSSELIN, présenté par MM. Faure, Fevre et Le Roy.

M. BARROUX, présenté par MM. Faure, Friestley et Mathieu.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES AU 1^{er} JANVIER 1854.

Membres du Bureau.

Président :

M. VUIGNER (Emile) O ✱, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.

Vice-Présidents :

MM. CALLON (Charles), rue Royale-Saint-Antoine, 16.

POLONGEAU (C.) ✱, place Royale, 19.

MONY (Stéphane) ✱, rue d'Alger, 9.

FLACHAT (Eugène) ✱✱, rue de Londres, 51.

Secrétaires :

MATHIEU (Henri), rue Saint-Lazare, 127.

YVERT (Léon), rue Saint-Lazare, 82.

FÈVRE, rue de la Chaussée-des-Minimes, 5.

CORNET, rue Meslay, 12.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.), rue Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. PETIET (J.) O ✱✱, rue Lafayette, 34.

NOZO (Alfred), place du Château-Rouge, 2, à Montmartre.

CAVÉ ✱, rue du Faubourg-Saint-Denis, 222.

DEGOUSÉE, rue Chabrol, 35.

SÉGUIN (Paul), rue Louis-le-Grand, 3.

YVON-VILLARCEAU, à l'Observatoire.

FAURE, boulevard Saint-Martin, 55.

ALCAN (M.), rue d'Aumale, 23.

BELLIER (Adolphe), rue Saint-Honoré, 83.

HOUEL ✱, quai de Billy, 48.

CHOBRZINSKY, rue du Nord, 11.

SALVETAT, à Sèvres (Manufacture impériale).

FORQUENOT, boulevard Montmartre, 10.

CHARBONNIER, faubourg Saint-Denis, 222.

BOIS (Victor), place du Havre, 14.

BERGERON, rue de Lille, 79.

THOMAS (Léonce) ✱, rue des Beaux-Arts, 2.

PÉPIN-LEHALLEUR ✱, rue de la Victoire, 14.

LA SALLE, rue Saint-Georges, 58.

LEMOINNE ✱, rue d'Amsterdam, 21.

Président honoraire :

PERDONNET ✱, rue Paradis-Poissonnière, 4.

Sociétaires.

MM. ABOILARD, ingénieur au chemin de fer du Midi, à Aiguillon (Lot-et-Garonne).

ALBY, à Turin (Piémont).

ALCAN, rue d'Aumale, 23.

ALLÉON, rue d'Amsterdam, 52.

ALQUIÉ, rue d'Enghien, 15.

ANDRY, à Boussu, près Mons (Belgique).

ARMENGAUD, rue Saint-Sébastien, 45.

ARNOUX, rue des Petites-Ecuries, 57.

ARSON, à Vaux (Seine-et-Oise).

BARBEROT ✱✱, Grande-Rue, 21, à Batignolles.

BARDON, au chemin de fer de Tours, à Tours.

BARRAULT, rue de Clichy, 63.

BARVEAUX, rue Fontaine-au-Roi, 56.

BAUMAL, faubourg Montmartre, 30.

BELLIER, rue Saint-Honoré, 83.

BÉNARD, rue Saint-Vincent-de-Paul, 6.

BENOIST DU PORTAIL, rue Saint-Jacques, 75.

- BERGER (Louis), rue Saint-Gilles, 11.
BERGERON, rue de Lille, 79.
BERTHOLOMEY, a la raffinerie Cezard, à Nantes.
BERTOT, au chemin de fer du Midi, à Agen.
BEUGNOT, maison Kœchlin, à Mulhouse.
BÉVAN DE MASSI, à Séville(Espagne).
BINDER (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
BIVER, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).
BLACHER, M^{son} Gottlob, rue des Marchands, 10, à Avignon.
BLANCHE, à Puteaux (Seine).
BLARD, chef de départ à Etampes (Seine-et-Oise).
BLONAY, chez M. Dietrich, maître de forges, à Niederbronn
(Bas-Rhin).
BLOT (Léon), rue Guénégaud, 15.
BOIS (Victor), place du Havre, 14.
BONNET, rue de Sèvres, 8.
BONNET (Victor), ingénieur au chemin de fer de Gressessac,
à Béziers, à Béziers (Hérault).
BORDET, à Remilly, par Sombermon (Côte-d'Or).
BOSSU, à Dieuze (Meurthe).
BOUDARD, à Courrières, par Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).
BOUDSOT, à Besançon (Doubs).
BOUGÈRE, à Angers (Maine-et-Loire).
BOURCARD, à Guebwiller (Haut-Rhin).
BOURDON ✕, route de Toulon, 158, Marseille.
BOURGOUGNON, faubourg Saint-Denis, 222.
BOURNIQUE, rue Montholon, 11.
BOUSSON, à Roanne (Loire).
BOUTIN, boulevard Beaumarchais, 46.
BOUTMY, rue Blanche, 36.
BRICOGNE, rue des Petites-Ecuries, 58.
BRIDEL, rue Mazagran, 8.

- BUDDICOM, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
BUREAU, au chemin de fer de l'Ouest, rue S.-Lazare, 124.
BUSCHOFF, rue des Marais-Saint-Martin, 20.
CAILLÉ, chez M. Soleirol, rue Teisson, à Alais.
CAILLET, boulevard Beaumarchais, 28.
CAILLOT-PINART, faubourg Saint-Martin, 140.
CALLON, rue Royale Saint-Antoine, 18.
CALLA *, rue Lafayette, 11.
CAMBIER, ingénieur au chemin de fer du Mans à Mesidou,
à Argentan (Orne).
CASTEL (Emile), rue de la Charronnerie, 1, à Saint-Denis.
CAVÉ *, rue du Faubourg-Saint-Denis, 222.
CHABRIER, rue Saint-Lazare, 69.
CHAMPIONNIÈRE, rue Olivier, 4.
CHAPRON, ingénieur au chemin de fer du Nord.
CHARAUDEAU, rue Bleue, 12.
CHARBONNIER, faubourg Saint-Denis, 222.
CHARPENTIER, rue du Temple, 192.
CHAUVEL, à Navarre, par Évreux (Eure).
CHAVÈS, inspecteur du service des eaux au chemin de fer
du Nord, rue de l'Echiquier, 27.
CHEVANDIER, rue de la Victoire, 22.
CHOBRZINSKY, rue du Nord, 11.
CLÉMANDOT, à la verrerie de Clichy-la-Garenne.
CLÉMENT DESORMES, à l'usine d'Oulliers, près Lyon.
CORNET, ingénieur chef du bureau des études au chemin
de fer de l'Est, rue Meslay, 12.
COURRAS, Grande-Rue, à La Chapelle.
COURTÉPÉE, rue des Francs-Bourgeois, 7.
COURTINES.
CRÉTIN, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 105.
CROSNIER, rue Meslay, 39.
CURTEL, à Saint-Dizier (Haute-Marne).

- DAGUIN (Ernest), rue Geoffroy-Marie , 5.
- DANRÉ ✱, Kirsteinska husel Clara Bergsgrand , à Stockholm (Suède).
- DARBLAY , à Corbeil (Seine-et-Oise).
- DEBAUGE ✱ , à Agen , ingénieur en chef au chemin de fer du Midi.
- DEBONNEFOI , rue Meslay , 25.
- DECAUX , boulevard Saint-Jacques , 84.
- DEDION , au chemin de fer du Midi , à Bordeaux.
- DEFFAUSSE , au chemin de fer de Bordeaux à Cette , à Moissac (Tarn-et-Garonne).
- DEGOUSÉE , rue de Chabrol , 35.
- DEJOLY (Théodore), palais du Corps législatif.
- DELIGNY , à Séville (Espagne).
- DELOM , au chemin de fer de Strasbourg , à Troyes.
- DELPECHE , rue Rambouillet , 2.
- DENIEL , ingénieur au chemin de fer de Montereau à Troyes , à Troyes.
- DEVAUREIX , rue de l'Ecluse , 26 , Batignolles.
- DEVERS , rue Rochechouart , 52.
- DEVILLE , à Tournon (Ardèche).
- D'HAMELINCOURT , rue Neuve-Coquenard , 26 bis.
- DONNAY , chef du bureau des études au chemin de fer du Nord , passage Sandrié.
- DUBIED , à Mulhouse.
- DUGOURD , chez M. Laurent , place de l'Horloge , à Avignon.
- DULONG , rue du Regard , 5.
- DUMÉRY , rue des Petites-Écuries , 45.
- DU PAN (Louis) , à La Fère (Aisne).
- DURENNE , rue des Amandiers-Popincourt , 11.
- DUROCHER , rue de la Verrerie , 83.
- DUVAL (Edmond) , aux forges de Paimpont , près Plélan (Ille-et-Vilaine).

- ÉBRAY, à Poitiers.
- ECK ✱, rue du Vert-Bois, 33.
- EDWARDS ✱, rue Saint-Honoré, 355.
- ESTOUBLON, maître de forges, à Bourges (Cher).
- ÉVRARD, rue Popincourt, 97.
- FARGOT (J.-J.-Léon), au port Saint-Ouen (Banlieue).
- FAURE, boulevard Saint-Martin, 55.
- FÈVRE, rue de la Chaussée-des-Minimes, 5.
- FLACHAT (Eugène) ✱✱, rue de Londres, 51.
- FLACHAT (Adolphe), rue Caumartin, 70.
- FLACHAT (Jules), au chemin de fer de Strasbourg à Bâle, faubourg de Saverne (Strasbourg).
- FONTENAY (de), rue Saint-Antoine, 214.
- FONTENAY (Tony), ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Rembert à Grenoble, à Grenoble.
- FORQUENOT, boulevard de l'Hôpital, 7.
- FOURNIER, rue Louis-le-Grand, 3.
- FOURNIER (A.), à Orléans (Loiret).
- FRESNAYE, à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- FROYER, rue Saint-Nicolas-d'Antin, 50.
- GAJEWESKI, rue Sainte-Marie, 5, à Batignolles.
- GANNERON, rue de Chabrol, 14.
- GARNIER, rue Taitbout, 16.
- GAUDRY (Jules), inspecteur du matériel au chemin de fer de l'Est, rue des Pyramides, 6.
- GAYRARD (Gustave), rue de Beaune, 14.
- GENTILHOMME, quai de la Tournelle, 45.
- GERDER, au chemin de fer de Graissessac, à Béziers (Hérault).
- GERMAIN, à l'usine à zinc, à Clichy.
- GERMON, rue du Château-Rouge, 4, à Montmartre.
- GETTING, avenue Dauphine, à Passy.

- GEYLER, rue de Buffault, 13.
GIRARD, rue d'Enghien, 44.
GOLLNISCH, rue Caumartin, 62.
GOSCHLER, à l'administration du chemin de fer d'Alsace,
faubourg Saverne (Strasbourg).
GOSSET (Jules), rue Saint-Etienne, 23, aux Batignolles.
GOUIN (Ernest) ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 26.
GOUVION, au chemin de fer de Saint-Germain.
GRANDVOINNET, à l'école impériale d'agriculture de Grignon,
par Neauphle-le-Château (Seine-et-Oise).
GRENIÉ (Achille), au chemin de fer de Strasbourg.
GROSSET, au chemin de fer de Tours, à Tours.
GUÉRARD, au chemin de fer du Nord.
GUÉRIN, rue du Helder, 3.
GUETTIER, aux fonderies de Marquise (Pas-de-Calais).
GUIBAL (Théodore), à l'École des mines, à Mons (Belgique).
GUIBAL (Jules), rue Pargaminières, 71, à Toulouse.
GUILLAUME, au chemin de fer du Midi, à Moissac (Tarn-et-
Garonne).
GUILLAUME, rue de Lancry, 55.
GUILLON, à Saint-Quentin.
GUIRAUDET ✱, rue Saint-Honoré, 338.
HALPHEN, rue Laffitte, 36.
HAMOIR, à Maubeuge (Nord).
HERMARY, à Lambres, par Aire-sur-la-Lys (Pas-de-
Calais).
HERVIER, rue du Faubourg-Montmartre, 15.
HOLCROFT, à Tours (Indre-et-Loire).
HOUEL ✱, quai de Billy, 48.
HOUSSOULIER, rue Notre-Dame, 1, aux Batignolles.
HOVINE, boulevard Beaumarchais, 62.
HUBERT, rue Blanche, 69.
HUET, rue de Buffault, 13.

- HUMBLLOT, rue des Clercs, à Metz.
JACQUESSON (Ernest), rue d'Hauteville, 64.
JULLIEN, à l'usine de Sainte-Lorette-Rive-de-Gier.
KNAB, rue de Seine, 72.
KRAFFT, quai Saint-Nicolas, à Strasbourg.
KREGLINGER, à Malines (Belgique).
LABORIE (de), quai de Béthune, 18.
LABOUVERIE, rue Spintay, 59, à Vervières (Belgique).
LALIGANT, à Maresquel, par Champagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).
LALO, rue Saint-André-des-Arts, 45.
LANGLOIS, rue du Faubourg-Montmartre, 15.
LA SALLE, rue Saint-Georges, 58.
LASSERON, rue de la Chaussée-d'Antin, 41.
LAROCHETTE (DE), à Bastia (Corse).
LAURENS, rue des Beaux-Arts, 2.
LAURENT, rue d'Enfer, 119.
LAURENT (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagny (Haute-Saône).
LAVALLEY, rue de Tivoli, 3.
LEBON, rue Richelieu, 110.
LECLER (Achille), rue de La Rochefoucault, 50.
LECOEUVRE, rue des Amandiers-Popincourt, 46.
LECOINTE, rue Neuve-Bréda, 22.
LECONTE, rue de Bercy, 4, à Paris.
LEFRANÇOIS, rue Rocroy, 23.
LE GRAND, agent voyer chef à Troyes (Aube).
LEMAIRE, rue des Réservoirs, à Versailles.
LEMAIRE-TESTE, rue des Tournelles, 60.
LEMOINNE *, rue d'Amsterdam, 21.
LEPEUDRY, rue Montholon, 28.
LE ROY, rue Beauveau, 10.
LEVAT, à Montpellier.

- LIMET, rue de La Bruyère, 8.
LOISEL, rue Godot-de-Mauroi, 36.
LOPEZ BUSTAMANTE, à Santander (Espagne).
LORENTZ (E.), rue Blanche, 83.
LOUSTAU (Gustave), rue Saint-Quentin, 23.
LOVE, rue du Mont-Thabor, 15.
LOYD, chez M. Gouin, aux Batignolles.
MAIRE, rue Caumartin, 10.
MALO, à la gare du chemin de La Teste à Bordeaux.
MANGEON, à Melun (Seine-et-Marne).
MARÉCHAL, rue des Petits-Hôtels, 32.
MARÈS (Henry), rue Salle-Lévêque, à Montpellier.
MARGUET, à l'école industrielle de Lausanne (Suisse).
MARIÉ, rue Jacob, 30.
MARIOTTE, directeur des travaux des sucreries de la Scarpe,
à Brebières, par Vitry (Pas-de-Calais).
MARSILLON (Léon), boulevard des Capucines, 29.
MARTENOT, à Ancy-le-Franc (Yonne).
MARTIN (J.-B.), à Besançon (Doubs).
MARTIN (Charles), place du Greffe, à Bourg-en-Bresse (Ain).
MARTIN, rue d'Amsterdam, 51.
MARTIN (Léon), à Saint-Julien, par Saint-Chamond (Loire).
MASSELIN, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.
MATHIAS (Félix) ✱✱, rue Saint-Quentin, 23.
MATHIAS (Ferdinand), à Lille.
MATHIEU, rue Saint-Lazare, 127.
MAYER, rue Pigale, 26.
MAZELINE, constructeur, au Havre.
MÉLIN, rue Neuve-Coquenard, 11.
MERCIER, rue Saint-Antoine, 214.
MESDACH, rue Saint-Paul, 28.
MEYER, rue de la Pépinière, 97.
MICHELANT, au chemin d'Orléans (au dépôt, à Ivry).

- MIGNON, rue de Ménilmontant, 151.
MIRANDA (DE), à Madrid (Espagne).
MIRECKI, à Amiens.
MITCHELL, boulevard Beaumarchais, 54.
MOLÉON, à Castres (Tarn).
MOLINOS, rue Chaptal, 22.
MONTCARVILLE, au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONY (Stéphane) ✨, rue d'Alger, 9.
MORARD, à Amiens (Somme).
MOREAU (Albert), rue de Lille, 21.
MORICE, à Hazebrouck.
NANCY, ingénieur au chemin de fer de Montereau à Troyes
(chez M. Favier, rue du Bois, 179, à Troyes).
NEPVEU, boulevard Montmartre, 14.
NILLIS (Auguste), au bureau du chemin de fer, à Vitry-le-
Français.
NOZO, place du Château-Rouge, 2, à Montmartre.
ORIOLE, vieille route de Nantes, à Angers.
OUDOT, rue du Cherche-Midi, 13.
PAQUIN, au chemin de fer, à Mulhouse.
PECQUET, rue de Buffault, 12.
PÉPIN-LEHALLEUR ✨, rue la Victoire, 14.
PERDONNET (Auguste) ✨, administrateur au chemin de fer
de Strasbourg, rue Paradis-Poissonnière, 4.
PEREIRE (Eugène), rue d'Amsterdam, 5.
PETIET (Jules) O. ✨ ✨, rue Lafayette, 34.
PETIT (DE COUPRAY) ✨, rue des Marais, 46.
PETITGAND, rue Bleu, 5.
PETRE, rue d'Enghien, 31.
PICARD, à Petit-Chasse, par Vienne (Isère).
PIQUET, hôtel Verdier, à Annonay (Ardèche).
PLANHOL (de), à Lisieux (Calvados).
POINSOT, au Conservatoire des Arts et Métiers.

- POLONCEAU ✱, place Royale, 19.
POT, Grande rue Marengo, 20, à Marseille.
POTHIER (Alfred), rue Neuve-des-Mathurins, 33.
POTTIER (Ferdinand), chargé de la construction de fours à coke, à Forbach.
POUELL, chef de section au chemin de fer du Nord.
POUPÉ, à Amiens.
PRIESTLEY, rue Saint-Gilles, 17.
PRISSE, au chemin de fer d'Anvers à Gand.
PROAL, quai de la Grève, 26.
PRONNIER, rue Chaptal, 22.
PURY (de), à Neufchâtel (Suisse).
QUÉTIL (Julien), rue Richer, 44.
RAABE (Émile), à Rive-de-Gier (Loire).
RANCES, rue de Berry, 39, à Bordeaux.
REDON, allée des Bénédictins, à Limoges.
REGEL (DE), à Strasbourg.
REGNAULT, rue d'Amsterdam, 20.
RENARD, à Fécamp (Seine-Inférieure).
REYNAUD, à Cette (Hérault).
REYNIER, rue Mazagran, 8.
REYTIER, à la houillère d'Épinac, à Épinac.
RHONÉ, rue Saint-Lazare, 126.
RICHARD, à Bernay (Eure).
RICHARD (A.-J.), à Düsseldorf.
RICHE, rue
RICHOMME, rue de Dunkerque, 15.
RICHOUX, quai Saint-Michel, 19.
ROMME, à Amiens.
ROSSIRE, à Lausanne (Suisse).
RUOLZ ✱✱, rue Saint-Benoît, 13.
SAINT-JAMES, villa Montmorency, à Auteuil.
SALLERON, à Sens (Yonne).

- SALVETAT, à la manufacture impériale de Sèvres.
SAULNIER, rue des Mathurins-Saint-Jacques, 18.
SAUTTER, rue de la Victoire, 90.
SCHLINCKER, à Creutzwald (Moselle).
SCHMERRBEER, à Mulhouse.
SCHROËDER, rue Paradis-Poissonnière, 56.
SÉGUIN (Paul), rue Louis-le-Grand, 3.
SERVEL, rue de la Bienfaisance, 36.
SOUCHAY, à Joinville (Haute-Marne).
STEGER, rue Sainte-Anne, 46.
STIELER, à Bordeaux.
TARDIEU, ingénieur au chemin de fer du Midi (place d'armes, 16, à Valenciennes).
THAUVIN, rue de l'Entrepôt, 21.
THÉTARD, rue Boursault, 12.
THIEVENET, place aux Herbes, à Grenoble.
THOMAS (Léonce) ✕, rue des Beaux-Arts, 2.
THOMAS (Frédéric), rue de la Douane, 11.
TOURNEUX (Félix), rue de Penthhièvre, 15.
TRESCA, rue d'Angoulême, 29.
TRÉLAT, rue de Londres, 51.
TRONQUOY, Faubourg-Poissonnière, 21.
VALÉRIO, à la manufacture des glaces, à Aix-la-Chapelle (Prusse).
VALLIER, rue Royale, 75, à Versailles.
VIGNEAUX, à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
VILLAIN, rue Marbœuf, 46.
VINCHON, rue de Hanovre, 5.
VIRON, chef de section à Angoulême.
VOLLANT, à Blois.
WOLSKI, quai Maison-Rouge, maison Corairy, à Nantes.
VUIGNER (Émile) O ✕, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
VUILLEMIN, à Metz (Moselle).

- WAHL, rue de Bercy, 51, à Bercy.
WEIL (Frédéric), rue des Petites-Ecuries, 13.
WILLIEN (Léon) ✱, rue du Faubourg-de-Saverne, 53, à
Strasbourg.
WINDISCH, rue Rumford, 13.
YVERT (Léon), rue Saint-Lazare, 82.
YVON-VILLARCEAU, à l'Observatoire.

MEMOIRE N° XXXV.

Sur les machines à vapeur appliquées à la navigation,

PAR M. JULES GAUDRY.

Une statistique récente sur les travaux industriels en France porte à 314 le nombre des bâtiments à vapeur en chantier. En Angleterre la dimension des navires ne connaît plus de limites, et l'un des steamers qui s'y construisent en ce moment aura 215^m de longueur sur 25^m de largeur et 2500 chevaux de force. Jamais il ne fut donc plus opportun d'étudier les tendances des constructeurs. Dans un premier mémoire je me suis occupé de la coque; je viens examiner aujourd'hui diverses questions relatives au choix et à l'installation des machines employées à mouvoir les propulseurs.

Passons d'abord en revue les systèmes en usage et les innovations proposées.

I. EXPOSÉ DES SYSTÈMES EN USAGE.

La préférence à donner aux hélices sur les roues à aubes ne fait plus question dans la marine militaire.

Le seul propulseur admis aujourd'hui pour elle, en France et en Angleterre, dans les nouveaux navires, est l'hélice à ailes installée sous la flottaison dans les façons-arrières de la coque; mais l'usage des roues à aubes est resté fréquent dans la marine commerciale. Les steamers transatlantiques de Liverpool et du Havre, *Franklin*, *Humboldt*, *Nashwil*, *America*, *Cambria*, *Orion*, etc., en sont des exemples.

Les machines qui conduisent des hélices et celles qui commandent des roues ne présentèrent long-temps aucune différence essentielle. Elles forment aujourd'hui deux classes distinctes.

§ I. *Machines de navires à roues.*

En Angleterre, les bateaux à roues ne connaissaient, il y a dix ans, d'autre type de moteurs que la lourde et volumineuse machine de Watt, à balanciers latéraux et à basse pression, si bien équilibrée dans son ensemble. L'obligation imposée aux constructeurs de réduire leurs appareils à des poids et des volumes moindres a fait naître une multitude de systèmes à mouvement direct, dans la plupart desquels on a conservé au cylindre sa position fixe et verticale sous l'arbre des roues, en reliant les manivelles à la tige du piston par une bielle diversement agencée. Ces systèmes offrent tous l'un des quatre inconvénients que voici :

1° La bielle est tellement courte, qu'elle est souvent à peine égale à deux fois la manivelle.

2° L'arbre des roues est trop élevé pour conserver à la bielle une longueur suffisante.

3° Des engrenages et des agencements compliqués de leviers ont dû être employés.

4° Enfin, l'attache inférieure de la bielle a été ramenée dans le milieu ou sur les côtés du cylindre vers le fond du navire, par un ensemble de T, de tringles, de tiges, de leviers et de glissières, qui s'ajoutent en résistance dans la période ascensionnelle du piston et accélèrent sa descente dans le cylindre, en rendant le jeu de la machine fort irrégulier.

Un seul de ces systèmes a survécu : c'est celui de Maudslay, connu sous le nom de machine à piston annulaire ou à double cylindre (type de la frégate *the Retribution*). Encore ce constructeur l'a-t-il seul employé.

La machine à trois cylindres et à simple effet de Scaaward n'a eu qu'un succès passager, bien que la bielle reliant directement le piston avec les manivelles à la façon du plongeur des pompes de loco-

motives Stephenson fût la plus simple comme la moins spacieuse des dispositions qu'on ait jamais adoptées.

Le seul système généralement usité est la machine oscillante de Penn, système français, et même parisien, d'origine, qui fut, en 1824, la première œuvre de M. Cavé, que l'ingénieur anglais a si merveilleusement adapté à la navigation, et que tous les constructeurs se sont ensuite approprié par des modifications de détail.

Outre la disposition des bâtis, sur laquelle je reviendrai, deux points caractérisent ce système :

1° La course est réduite de manière à ce que les cylindres puissent osciller verticalement sous l'arbre des roues. L'emplacement voulu par la machine est ainsi tellement réduit qu'elle n'occupe pas plus de 3 mètres dans la longueur du *Great-Britain*, navire de 3500 tonneaux.

2° Sans augmenter la vitesse au delà des limites que Watt assignait au piston, le nombre de coups donnés par celui-ci est plus élevé qu'il n'était dans les anciennes machines. Voici les proportions admises dans les steamers omnibus de la Tamise, construits il y a quelques années par Penn et Spiller :

Force de la machine	24 à 32 ^{ch}
Diamètre des roues	3 ^m .20 à 3 ^m .40
Course des pistons.	0 ^m .80
Nombre de tours de roues par minute	42 à 45
Vitesse correspondante par seconde	1 ^m .10 à 1 ^m .20

Les mêmes proportions se retrouvent dans le petit vapeur omnibus de 24^{ch} de Penn et Normand qui vient d'arriver à Paris.

Autant le système oscillant de Penn est usité en Angleterre pour l'usage des bateaux à roues, en mer aussi bien qu'en rivière, autant nous lui voyons préférer en France le type à cylindre fixe et à action directe, dit mouvement de locomotive. Les machines oscillantes de Penn et de M. Cavé ont sans doute fait leurs preuves, mais la méca-

nique n'est pas à l'abri de l'influence des modes. Or, en France et sur le continent, la mode favorise les types à action directe et à cylindres fixes; ils y revêtent toutes les formes possibles: tantôt les cylindres sont inclinés vis-à-vis l'un de l'autre suivant le vieux système de Brunel, ou côte à côte, comme dans les *Parisiens* de la Saône et le *Michel Orban* de la Meuse; tantôt ils sont horizontalement placés à la hauteur du pont dans le plan de l'arbre des roues, conformément au type du Creusot, généralement adopté sur les deux lignes lyonnaises.

Ce système, qu'on pourrait appeler l'antipode de celui de Penn, présente cinq caractères principaux :

1° Tout le mécanisme et les cylindres sont pour ainsi dire en l'air, à la hauteur du pont, dans le plan horizontal de l'arbre des roues.

2° Les pistons ont de très grandes courses, avec 1^m.50 de vitesse environ.

3° Les organes ont une rare amplitude de mouvement, les roues atteignent en rivière 7^m de diamètre, et rarement elles dépassent 25 à 26 tours par minute.

4° Les bâtis sont d'une extrême légèreté : deux grands longerons en chaudronnerie attachés au fond de la coque, deux petits longerons en fer, correspondant aux précédents et fixés à la hauteur du pont, des colonnettes et quelques entretoises horizontales reliant les longerons, tel est leur système.

5° La machine occupe une très grande longueur dans la coque, pour répartir la charge sur une très vaste surface.

En un mot cette machine semble s'être proposé pour problème de réunir au plus haut degré la légèreté unie à l'amplitude des mouvements.

Telle est néanmoins la sympathie des ingénieurs lyonnais pour ce système, qu'il tend à remplacer toutes les anciennes machines, sans en excepter celle de Jakson, qu'on ne voit plus que dans les vieux bateaux, où, depuis le remplacement des chaudières, elle fonctionne sous trois atmosphères de pression avec détente et condensation,

comme le type précédent. Elle ne diffère de la machine de Watt que parceque les balanciers latéraux, appartenant au deuxième genre de levier, portent, au milieu, l'attache inférieure de la bielle. Cette machine est d'ailleurs une des plus légères et des mieux installées qu'il y ait dans l'industrie.

Parmi les machines horizontales ou à mouvement direct, il existe un système de M. Cochot, désigné sous le nom de type du remorqueur *le Fulton*, et dont voici la description sommaire.

Sur une plaque de fondation très solide, analogue à celle des anciennes machines de Watt, comme elle fixée sur les carlingues, et contenant les condenseurs, sont horizontalement installés les deux cylindres, l'un en prolongement de l'autre, dans la longueur du bateau. Les tiges de piston sortent de leur cylindre respectif par les couvercles opposés, c'est-à-dire par les deux extrémités de la machine. Chaque tige transmet le mouvement, par l'intermédiaire d'une bielle, à un levier du troisième genre, oscillant dans un plan vertical, ayant en bas son point d'appui, et portant en haut l'attache de la bielle motrice, qui passe au dessus du cylindre pour aller retrouver les manivelles de l'arbre de couche.

Entre les cylindres et sous l'arbre sont logées la bêche de déversement des condenseurs et les pompes à air des deux côtés de cette bêche; elles reçoivent, ainsi que les autres pompes, leur mouvement, par un excentrique monté sur l'arbre. Quoique cette machine (plus amplement décrite dans le bulletin de la Société d'encouragement) ait très bien réussi sur la Seine et sur le Rhin, M. Cochot n'a pu l'adopter dans les bateaux de la Saône et du Rhône, parceque la grande dimension des cylindres eût forcé de beaucoup trop élever l'arbre de couche au dessus du pont. Elle a donc reçu peu d'applications.

La machine à piston annulaire ou à double cylindre de Maudslay, les machines à action directe dites types de locomotives, et les systèmes oscillants de Penn et de M. Cavé, telles sont les seules machines de bateaux à roues qui offrent un caractère de généralité.

Le tableau suivant indique comparativement les dimensions adoptées par les constructeurs.

Tableau comparatif des dimensions des machines pour bateaux à roues.

DÉSIGNATION	Directe à deux cylindres type rappelant celui du Crenson.	Directe du Crenson à un cylindre.	Directe à deux cylindres inclinés de M. Coehot.	Oscillante, type de M. Cavé.	Oscillante, type de Penn.
	ch 200	ch 200	ch 240	ch 150	ch 50
Pression de la vapeur	6at	3at	1at.5	7at	2at.5
Détente.	»	»	0.70	0.30	0.6
Diamètre du piston.	0 ^m .77	1 ^m .30	1 ^m .45	0 ^m .70	0 ^m .73
Course du piston.	1.00	2.50	1.29	0.80	0.76
Nombre de coups par minute.	35	30	34	40	42
Vitesse correspondante du piston	1 ⁿ .16	1 ^m .25	1 ^m .16	1 ^m .20	1 ^m 06
Surface de chauffe.	130mq	197mq	360mq	125mq	184 ⁿ .q
Surface par cheval.	0.65	0.98	1.50	1.20	1.68
Consommation par cheval et par heure.	3 ^k .6	»	»	»	»
Largeur de la machine.	2 ^m .70	1 ^m .50	»	»	3 ^m 40
Longueur.	»	8.90	»	»	1
Poids.	»	»	»	30t	17t
Poids par cheval.	»	»	»	200 ^k	354 ^k

Les documents contenus dans ce tableau sont trop incomplets et trop peu nombreux pour fournir des conclusions positives. Aussi vais-je tâcher d'y suppléer en plaçant à côté de ce tableau la comparaison de dix-huit projets de *machines-marines* avec propulseurs à roues proposés par divers constructeurs anglais, et que nous trouvons dans le manuel de Murray. La seule condition du programme

était de ne pas dépasser 300 tonnes de poids, y compris les chaudières et les soutes suffisantes pour contenir 300 tonnes de houille. Les concurrents étaient d'ailleurs libres de choisir leur système; la préférence devait revenir à la machine qui atteindrait la plus forte puissance sans dépasser le maximum de poids déterminé.

N°	Nom de la machine	Poids (tonnes)	Puissance (CV)	Vitesse (nœuds)	Remarques
1	Machine à vapeur	280	1000	12	Machine à vapeur simple expansion
2	Machine à vapeur	290	1100	13	Machine à vapeur double expansion
3	Machine à vapeur	300	1200	14	Machine à vapeur triple expansion
4	Machine à vapeur	270	900	11	Machine à vapeur simple expansion
5	Machine à vapeur	285	1050	12.5	Machine à vapeur double expansion
6	Machine à vapeur	295	1150	13.5	Machine à vapeur triple expansion
7	Machine à vapeur	305	1250	14.5	Machine à vapeur triple expansion
8	Machine à vapeur	275	950	11.5	Machine à vapeur simple expansion
9	Machine à vapeur	280	1000	12	Machine à vapeur double expansion
10	Machine à vapeur	290	1100	13	Machine à vapeur triple expansion
11	Machine à vapeur	300	1200	14	Machine à vapeur triple expansion
12	Machine à vapeur	270	900	11	Machine à vapeur simple expansion
13	Machine à vapeur	285	1050	12.5	Machine à vapeur double expansion
14	Machine à vapeur	295	1150	13.5	Machine à vapeur triple expansion
15	Machine à vapeur	305	1250	14.5	Machine à vapeur triple expansion

TABLEAU comparatif des projets de machines et de chaudières pour steamers à roues, de constructeurs pour une paire de machines avec chaudières tubulaires, la force n'étant pas indiquée.

SYSTÈME DE MACHINE PROPOSÉ.	Oscillant	Direct	»	Oscillant	Direct	Oscillant	Dir
Force en chevaux (estimée par le constructeur)	544 ^{ch}	510 ^{ch}	500				
Poids supposé des machines.	105 ^t	127 ^t	125 ^t	117 ^t	123 ^t	100 ^t	150
— des chaudières vides.	78	73	63	70	68	78	50
— d'eau dans les chaudières.	48	35	52	20	46	53	50
— des soutes à charbon.	16	17	20	16	15	18	20
— des pièces de rechange.	27	15	8	23	13	12	10
— des roues.	26	33	30	38	35	40	20
Poids total supposé	300	300	298	284	300	301	300
Poids de charbon dans les soutes.	250	345	300	340	344	301	340
Poids total par force de cheval.	1.011	1.264	1.196	1.248	1.288	1.204	1.196
Poids de la machine seule par cheval.	176 ^k	249 ^k	250 ^k	234 ^k	246 ^k	200 ^k	300
Diamètre du piston.	2 ^m .125	2 ^m .100	2 ^m .100	2 ^m .065	2 ^m .075	2 ^m .025	2 ^m .
Course du piston	1.980	1.751	1.675	1.828	1.726	2.056	1.980
Nombre de coups doubles par minute.	17	19	20	18	19	17	17
Vitesse du piston par minute	1 ^m .405	0 ^m .94	1 ^m .115	1 ^m .226	1 ^m .000	1 ^m .165	1 ^m .
Rapport de la bielle motrice à la manivelle	4.20	2.76	2.94	4.39	»	3.37	3.37
Diamètre des roues à aubes.	7.50	7.35	7.95	8.10	7.95	8.10	7.95
Largeur des aubes.	3.192	2.70	2.825	2.700	2.70	2.852	2.70
Vitesse du bord extérieur des aubes par seconde.	4.12	4.37	4.99	4.70	4.78	4.25	4.25
Longueur des chaudières	6.97	5.57	6.00	5.67	5.97	6.60	6.60
Largeur des chaudières	7.37	6.92	8.15	5.70	7.20	6.50	6.50
Hauteur avec le réservoir.	4.97	5.42	4.98	4.35	4.60	4.97	5.42
Surface de chauffe par cheval.	0 ^m q.90	1 ^m q.46	1 ^m q.06	1 ^m q.21	1 ^m q.15	0 ^m q.98	1 ^m q.
Longueur de la machine seule	5 ^m .25	5 ^m .12	5 ^m .30	4 ^m .02	3 ^m .55	5 ^m .12	3 ^m .
Longueur totale de l'emplacement donné par le constructeur	16.00	14.50	17.00	17.00	14.00	16.00	16.00
Temps demandé pour la construction et l'installation.	12 mois	9 mois	7 mois	11 mois	10 mois	8 mois	15
Prix total des machines, soute et chaudière (à tubes de fer)	654,500 ^f	542,500 ^f	600,750 ^f	585,250 ^f	601,750 ^f	478,000 ^f	480,000 ^f
Prix par force de cheval.	1.199	1.063	1.201	1.172	1.203	0.956	1.199
Consommation supposée par heure et par cheval.	2 ^k .25	2 ^k .93	2 ^k .71	3 ^k .27	3 ^k .27	2 ^k .93	2 ^k .

*Administration des chantiers de Wolwich, d'après les propositions faites par divers
 e que par le poids maximum de 300 tonnes. (Traduit et extrait de Murray.)*

	»	»	Oscillant	Deux cylindres	Direct	»	»	»	Balan- ciers	Oscillant	Moyenne	
	470ch	460ch	460ch	450ch	444ch	426ch	420ch	342ch	312ch	312ch	544ch	312ch
	130t	148t	110t	148t	105t	114t	135t	125t	140t	125t	150t	100t
	62	48	69	72	70	60	51	50	50	50	78	48
	27	40	46	41	50	38	58	40	40	40	58	20
	17	15	23	8	19	16	10	13	13	13	28	8
	20	20	26	5	19	20	20	13	15	13	27	5
	44	29	26	26	37	24	23	18	18	18	44	18
	300	300	300	300	300	272	297	259	276	259	301	259
	325	300	360	320	360	304	349	380	340	345	400	250
	1.308	1.304	1.434	1.377	1.486	1.328	1.300	1.874	1.974	1.935	1.974	1.011
	276 ^k	321 ^k	237 ^k	328 ^k	259 ^k	267 ^k	321 ^k	365 ^k	448 ^k	400 ^k	448 ^k	176 ^k
	2 ^m .025	2 ^m .020	1 ^m .912	»	1 ^m .950	1 ^m .925	1 ^m .925	1 ^m .750	1 ^m .625	1 ^m .625	2 ^m .125	1 ^m .625
	1.624	1.600	2.283	1.828	2.056	1.675	1.623	1.523	1.82	1.828	2.280	1.520
	21	20	16	18.5	19	20	20	18	18	18	21	16
	1 ^m .136	1 ^m .066	1 ^m .216	1 ^m .122	1 ^m .30	1 ^m .116	1 ^m .081	0 ^m .913	1 ^m .096	1 ^m .096	1 ^m .30	0 ^m .913
	»	2.30	3.67	5.07	4.88	5.09	2.83	3.52	4.47	4.33	5.07	2.30
	7.95	7.80	8.85	8.028	7.80	7.65	7.80	7.50	7.50	7.50	8.85	7.35
	2.852	2.470	2.852	3.046	2.70	2.70	2.55	2.40	2.40	2.40	3.19	2.40
	5.22	4.90	4.44	4.66	4.65	4.80	4.90	4.23	4.23	4.23	5.22	4.12
	4.65	4.87	5.30	5.67	6.60	6.65	6.09	5.35	5.35	5.35	6.97	4.65
	7.02	7.50	7.12	7.20	5.82	6.60	5.65	5.70	5.70	5.70	8.15	5.65
	3.30	4.67	4.82	4.85	4.82	5.45	4.65	5.22	5.22	5.22	5.42	3.30
	»	1 ^m q.26	1 ^m q.26	1 ^m q.18	1 ^m q.26	1 ^m q.36	1 ^m q.25	1 ^m q.48	1 ^m q.62	1 ^m q.62	1 ^m q.62	0 ^m q.90
	5 ^m .72	4 ^m .65	5 ^m .47	5 ^m .42	4 ^m .23	4 ^m .97	3 ^m .65	2 ^m .82	6 ^m .30	4 ^m .77	6 ^m .30	2 ^m .82
	14.70	13.50	17.00	17.00	17.00	14.30	14.40	12.60	15.60	14.30	17.00	12.60
	8 ^m .1/2	9 mois	9 mois	7 mois	8 mois	13 mois	11 mois	9 mois	9 mois	9 mois	13 mois	7 mois
	f. 550,000	f. 485,000	f. 548,500	f. 534,750	f. 418,125	f. 486,000	f. 412,000	f. 331,250	f. 331,250	f. 331,250	f. 652,500	f. 331,250
	1.470	1.054	1.192	1.187	0.941	1.093	0.930	0.968	1.061	1.061	1.903	0.850
	2 ^k .48	2 ^k .71	2 ^k .71	3 ^k .27	2 ^k .93	2 ^k .71	2 ^k .71	3 ^k .27	3 ^k .27	3 ^k .27	3 ^k .27	2 ^k .25

La comparaison de ces machines donne lieu à neuf remarques que voici :

1^o Quinze projets, pour un poids peu différent de 300 tonnes, font varier la force de 420 à 544 chevaux ; les trois autres, pour un poids de 260 tonnes, atteignent de 312 à 342 chevaux.

2^o Le poids présumé des machines, soutes et chaudières, varie entre 1011 et 1975 kil. par cheval. Pour la machine seule, la plupart des projets n'excèdent pas 260 kilog. ; un seul dépasse 400 kil., il appartient au système à balancier. Mais le même type ne pèse que 370 kil. par cheval dans le steamer américain *le Humbolt*.

Si nos machines françaises sont généralement trop spacieuses, on ne peut du moins pas leur refuser le mérite de la légèreté. La machine du *Neptune*, nouveau bateau de Normand et Baudu, sur la Seine, où rien n'a été, tant s'en faut, sacrifié à l'allégement, ne pèse que 200 kilog. par cheval. Ce poids est bien moindre encore, à en juger par l'apparence, dans *l'Avant-Garde*, bateau de la Saône, dont j'ai parlé dans mon premier mémoire. Ce qui distingue ces deux machines c'est qu'elles sont à haute pression avec détente et condensation, circonstance sur laquelle j'insisterai bientôt pour en conclure le type de machine à préférer.

3^o L'appareil du *Neptune* appartient au système oscillant de M. Cavé ; celui de *l'Avant-Garde* ne diffère du type du Creusot que par le raccourci et l'accélération des organes. Mais, dans les dix-huit projets anglais, c'est au type oscillant de Penn que correspondent les moindres poids.

4^o Le nombre de coups de piston par minute dans ces dix-huit projets varie de 16 à 21 avec une vitesse correspondante de 0^m.913 à 1^m.15. Cette vitesse est rarement dépassée, même dans les petites machines qui ont le moins d'amplitude de course et dont on accélère la rotation. Dans *le Humbolt* la vitesse du piston est seulement de 0^m.66 par seconde.

D'autres constructeurs, notamment en France, ont au contraire pour système de donner 1^m.50 de vitesse par seconde au piston, même

lorsqu'ils ne lui impriment pas plus de 20 à 25 coups doubles par minute.

5° La surface de chauffe est de 0^m.90 à 1^m.15 dans quatorze projets; elle dépasse 1^m.40 dans quatre autres seulement. Les systèmes tubulaires sont ceux où l'on a donné le plus de surface; mais dans *l'Avant-Garde*, celle-ci n'a que 0^m.60 par force de cheval, et cependant, contre l'ordinaire, l'appareil fournit avec une extrême abondance aux besoins de la machine.

Il est vrai qu'il fonctionne à tirage forcé par l'effet d'un jet de vapeur emprunté à la chaudière elle-même, tandis que, dans les systèmes précédents, le tirage s'opère naturellement à l'aide de grosses cheminées favorables à l'économie de combustible peut-être, mais insuffisantes pour appeler l'air dans des conduits aussi divisés qu'ils le sont dans les générateurs tubulaires.

6° La longueur totale de l'emplacement occupé dans la coque est de 12^m.50 à 17^m, dont 4 à 5^m pour la machine seule, sauf le projet de machine à balancier, qui en réclame 6^m.50. Le même système occupe 8 mètres dans *le Franklin* et dans *le Humbolt*. La plupart de nos systèmes français occupent généralement beaucoup de longueur.

7° Le temps demandé pour la construction et l'installation à bord est de 7 à 10 mois pour douze projets, et 10 à 13 mois pour les six autres.

8° Le prix soumissionné égale par cheval de 850 à 1000 fr. dans cinq projets; un seul constructeur demande un peu plus de 1200 fr.

9° Enfin la consommation garantie de houille est de 2^t.23 à 3^t.27 par cheval et par heure.

§ 2. *Machine de navire à hélice.*

On sait que les premières machines de navires à hélice ne différaient des autres que par leur position parallèle à l'axe du bateau, tandis qu'elles sont installées transversalement pour manœuvrer des roues; on accélérât alors la rotation de l'hélice par des engrenages.

En 1843, M. Cavé proposa de la conduire directement par une machine à mouvements rapides. Bientôt après apparurent en Angle-

terre plusieurs navires pourvus de ce système, et en 1847 on en vit en France la première application dans la corvette *le Chaptal* (1).

Le système des machines directes est exclusivement admis aujourd'hui; quant au type, il n'en existe vraiment qu'un seul : c'est celui qu'on désigne sous le nom de type des locomotives. Mais on en compte de nombreuses variétés décrites en divers recueils. Les principales sont au nombre de quatre :

1° *La double machine horizontale, dite en France type du Napoléon.* Comme dans les locomotives deux cylindres fixes, horizontaux et placés côte à côte, transmettent directement, par une bielle attachée au bout de la tige, le mouvement de leur piston à deux manivelles calées à angle droit sur l'arbre moteur. Toute la machine porte par conséquent d'un seul côté de l'axe du navire; mais elle est équilibrée de l'autre côté par les pompes et les condenseurs.

Le *deuxième système*, dont la machine de 700 chevaux exposée à Londres en 1851 par la maison Bolton Watt sert de type à la plupart de nos constructeurs, diffère du précédent par la présence de deux paires de cylindres et d'un quadruple mouvement, également réparti des deux côtés de l'axe du navire; mais l'emplacement qu'il exige est considérable : les machines de ce genre ne peuvent avoir moins de 7 mètres de longueur; encore les manivelles et les bielles sont-elles bien courtes. La force se divise en outre en un quadruple appareil, et il y aura lieu d'en étudier les inconvénients. Quoi qu'il en soit, tel est le système le plus usité : c'est celui d'un grand nombre de bâtiments sortis des ateliers de l'état; ce sera celui de la frégate *l'Isly* et du vaisseau de 900 chevaux *l'Eylau*, dont les machines sont en cours d'exécution à Paris, chez M. Cavé.

L'appareil que ce constructeur a installé dans *le Chaptal* a, comme dans le type précédent, quatre cylindres fixes et horizontaux; mais il en diffère en ce que les tiges de piston sortent de leur cylindre respectif par les couvercles qui regardent les flancs du navire;

(1) Voir la notice publiée dans le Bulletin de la Société d'encouragement Mai 1853.

les bielles motrices, au lieu de former le prolongement des tiges du piston, reviennent alors latéralement, au nombre de deux par chaque cylindre, retrouver en arrière l'arbre moteur, qui est fixé entre les deux paires de cylindres, au milieu de l'appareil, qui est ainsi plus ramassé sur lui-même et moins spacieux, tout en conservant aux bielles une grande longueur.

Ce type, comme toute machine nouvellement conçue, peut avoir besoin de perfectionnement; mais il est à regretter qu'on ne l'ait encore admis que sur un seul bâtiment de notre marine.

Le troisième système est la célèbre *Trunk-Engine de Penn*, autrement dite machine à fourreau, qui figurait à l'exposition de Londres en 1851. Son nom lui vient des tiges de piston, qui consistent en gros cylindres creux au fond desquels s'attachent les bielles. Celles-ci sont alors d'une grande longueur, bien que l'arbre *porte-hélice* soit très près des cylindres. Ceux-ci sont au nombre de deux côte à côte; en face et de l'autre côté de l'arbre sont en contre-poids les condenseurs et les pompes, dont les tiges viennent directement s'attacher sur les pistons, en traversant les couvercles du cylindre par des *Stuffing-Boxés*. On a élevé des craintes sur le refroidissement que pouvait causer dans le cylindre le fourreau rentrant après s'être rafraîchi dans l'air; mais il est prouvé par des expériences dynamométriques que le travail utile a atteint les 0.70 du travail théorique.

Le quatrième système est celui de *Mazeline* (type du Primauguet). Deux points essentiels le caractérisent :

1° Les cylindres, au nombre de quatre, alternent des deux côtés de l'arbre porte-hélice avec les condenseurs, en sorte que chaque cylindre a pour vis-à-vis, non pas un cylindre, comme dans les types précédents, mais un condenseur.

2° Celui-ci est assez bas pour laisser aux tiges de piston et aux bielles toute liberté de s'allonger. Les tiges sont au nombre de deux pour chaque piston dans un plan oblique, de façon à passer, l'une au dessus, l'autre au dessous de l'arbre, sans gêner le jeu des manivelles. Elles se prolongent jusque sur les condenseurs et s'attachent à un T guidé

par des glissières ; le milieu du T porte l'attache de la bielle motrice, dont la grosse tête vient trouver les manivelles. Cet agencement a permis de lui donner une très grande longueur, tout en rapprochant les cylindres vers l'axe du navire, de sorte que la machine, très ramassée, occupe peu de largeur.

3° Chacun des quatre pistons transmet son action à une paire de manivelles distinctes ; les quatre pistons sont en *principe* conjugués de telle sorte que, l'un d'eux étant à fond de course, les trois autres sont au quart, à la moitié et aux trois quarts de leur course respective (1). C'est une des plus importantes dispositions qu'on ait eues à signaler récemment dans les bateaux à vapeur, et sur laquelle nous reviendrons.

Dans le tableau suivant, je n'ai pu réunir que sept types de machines à rotation directe d'hélice, mais ils caractérisent les systèmes généralement admis.

Tableau comparatif de machines à vapeur de navires à hélice.

	Bouton Watt		Chaptal	Prinaugnet	Trunk-Engine	Bosphorus	Petit navire à hélice de M. Baulin
	Niger	Charlemagne					
Nombre des cylindres	4	4	4	4	2	2	2
Diamètre du piston	0 ^m .94	1 ^m .50	1 ^m .20	1 ^m .20	1 ^m .40	0 ^m .90	0 ^m .44
Course du piston	0.45	1	0.70	0.90	0.69	0.60	0.44
Nombre de coups doubles par minute	75	52	70	52	80	62	80
Vitesse du piston par seconde . . .	1 ^m .12	1 ^m .75	1 ^m .65	1 ^m .52	1 ^m .49	1 ^m .25	1 ^m .16
Surface de chauffe	»	»	»	0 ^m q9	»	»	1 ^m q.60
Force nominale	400ch	450ch	220ch	400ch	560ch	80ch	»
Force effective	920	650	540	»	672	»	25ch
Longueur de la machine	»	»	6 ^m .40	5 ^m .50	5 ^m	»	2 ^m
Largeur de la machine	»	»	3.80	7	5.40	»	$\frac{1}{2}$
Hauteur de la machine	»	»	5.	5	2	»	0.70

(1) En réalité les angles formés par les manivelles ne sont pas égaux. Leur calage dépend de plusieurs circonstances, parmi lesquelles il faut placer en première ligne le nombre des cylindres et l'instant où commence la détente.

Si maintenant nous résumons les faits contenus dans cet exposé, nous remarquons que :

1° Pour les bateaux à roues, les constructeurs anglais, Maudslay excepté, n'admettent presque plus d'autres types que celui des machines oscillantes ; la généralité des constructeurs français admet, au contraire, la machine à mouvement direct, horizontal ou incliné, dite type des locomotives.

2° Ce dernier système est celui qu'on adopté presque exclusivement pour les navires à hélice.

3° Une première différence existe entre les navires à roues et les navires à hélice : dans les premiers, la machine est dressée verticalement, occupant peu d'espace et beaucoup de hauteur. Dans les seconds, la machine est installée sous la flottaison, avec peu de hauteur et beaucoup de surface.

4° Il existe une seconde différence : les machines des roues à aubes donnent très rarement plus de 45 coups doubles de piston ; les machines à hélice transmettent directement au propulseur jusqu'à 120 tours, et au moins 50.

5° La comparaison des types 1 et 2 du deuxième tableau ci-dessus exprime assez bien les tendances opposées qui divisent les constructeurs.

Dans l'un, la course du piston égale 1 m., sa vitesse 1 m. 73, le nombre de tours 52.

Dans l'autre, la course du piston a moitié moins d'amplitude, la vitesse n'excède pas les limites tracées par Watt, Farey et le général Morin, mais le nombre des rotations est notablement plus élevé.

Remarquons encore que les deux machines, quoiqu'à peu près égales dans leur force nominale, doivent avoir un poids et un volume bien moindre pour la seconde que pour la première, si l'on en juge par la dimension des cylindres.

Enfin, s'il faut ajouter foi aux évaluations des forces nominales et réelles qu'indique l'auteur anglais Murray pour le *Niger*, l'avantage

resterait singulièrement acquis au système à mouvement rapide.

Je me borne à constater ici ces faits, j'en tirerai bientôt la conclusion.

II. EXPOSÉ DE QUELQUES SYSTÈMES NOUVEAUX.

Aucune époque de l'histoire de la navigation ne vit les constructeurs plus en suspens ni les nouveautés plus nombreuses : quelque incomplets que soient souvent les projets présentés, on ne saurait méconnaître que la marine n'est peut-être pas loin d'une révolution. Déjà sont venus les hélices, les roues d'arrière de Gâche, les monoroues de la Saône, les hélices latérales de Guibert, de Cadiat et autres pour les canaux et rivières, la forme des façons dite américaine, dont j'ai dit un mot dans mon premier mémoire, les bâtiments à quille mobile, les navires mixtes marchant également à la vapeur et à la voile, enfin les bateaux en fer et bois de Seguiet et Armand. Nous voici maintenant en présence de deux propulseurs et trois moteurs nouveaux.

Le premier propulseur est une hélice de M. Cavé dont la forme est complètement identique à la queue à double palme de certains poissons ; sa supériorité sur les roues et les nombreuses hélices essayées concurremment est résultée d'une série multipliée d'expériences en grand, inédites jusqu'ici, et que je ferai connaître ultérieurement.

Le second propulseur, construit aussi par M. Cavé, sur les plans de M. Hervier, n'est autre qu'une turbine hydraulique mue verticalement par une machine à vapeur ; elle prend l'eau à son centre et la chasse par ses aubes en un jet qui prend son point d'appui sur l'eau hors du navire et le fait avancer en sens contraire.

Les trois moteurs nouveaux, dans la marine au moins, sont : la machine rotative de Rennie, le système à vapeurs combinées d'eau et d'éther ou chloroforme, et le célèbre appareil calorifique d'Ericson.

Celui-ci n'est plus un mythe, M. Combes a prononcé sur lui un ju-

gement que deux mots résument : son principe est vrai, mais environné de difficultés pratiques que l'expérience résoudra (1). L'exemple de la machine à vapeur, si perfectionnée depuis son origine, donne toute confiance à cet égard.

Que le navire *l'Ericson* n'ait pas réalisé les prodiges trop complaisamment publiés dans la presse, c'est possible et probable; mais voici les faits, résultats et dimensions que le témoignage de M. Combes nous permet de tenir pour certains :

Longueur du bâtiment	78 ^m
Bau.	12
Rapport	1/6
Creux	8 ^m
Section immergée du maître couple, environ	62 ^m q
Port	2,000 ^t
Tirant d'eau moyen	4 ^m .80
Diamètre des roues	9.60
Largeur des aubes	3
Nombre de tours de roue.	6.5
Force réelle de la machine	175 ^{ch.}
Soit, par mètre de section immergée	2 ^{ch} 82.
Diamètre du cylindre alimentaire	3 ^m ,40
Id. travaillant	4.267
Course	1.82
Distance du fonds du cylindre à la grille sur laquelle repose le combustible (anthracite).	1.51
Chaleur de l'air	250°
Pression de l'air par centimètre carré	0 ^k .56
Longueur du régénérateur de chaleur	1 ^m .82
Largeur id.	1.20
Epaisseur id.	0.30

(1) Rapport de M. Combes, *Ann. des mines*, 3^e livraison 1851.

Hauteur de la machine	9.14
Vitesse effective	6 nœuds.
Consommation d'anthracite par cheval et par heure	$\frac{177^k}{175}$ 1 ^r .01

Pour compléter cette description, voici les principales proportions d'une autre machine d'Ericson :

Force nominale.	10 ^{ch}
Force réelle.	3
Poids de l'appareil entier	5 ^t
Soit par cheval nominal	500 ^k
Soit par cheval réel	1666 ^k
Longueur totale	2 ^m
Largeur id.	2
Hauteur id.	2.50
Diamètre du piston moteur	1.50
Course	0.22
Diamètre du piston alimentaire	0.40
Epaisseur du régénérateur.	0.25
Longueur	0.50
Largeur.	0.30
Ouverture des mailles	0.005
Diamètre du fil de fer.	0.001

L'examen de ces dimensions soulève deux observations :

1° Le travail utile de la machine n'est, il est vrai, qu'une très faible fraction de son travail théorique, eu égard surtout au poids de l'appareil; mais nous ne sommes pas loin encore du temps où les machines à vapeur utilisaient à peine la moitié de leur puissance.

2° Le travail réel développé par la première machine et par mètre carré de section immergée est descendu pour un sillage de six nœuds et demi au nombre vraiment fabuleux de 2^{ch}.82. Un pareil résultat dénote dans la coque une coupe merveilleusement taillée

pour diminuer la résistance. Le rapport entre la largeur et la longueur égale un sixième, circonstance qui vient à l'appui des critiques du premier mémoire contre les coques trop allongées.

3° Quant à la consommation de combustible, réduite à 1 kilog. d'anthracite, c'est très peu sans doute, comparativement à la dépense de la plupart des bateaux à vapeur.

Mais on sait que beaucoup de machines fixes ne dépensent guère plus que l'Ericson. Les célèbres pompes à feu de Cornwall ont même abaissé leur consommation jusqu'au chiffre de 0 kil. 60. Nous verrons qu'il n'y a pas d'impossibilité d'atteindre dans la navigation la faible consommation de la machine calorique.

Pendant qu'Ericson poursuit à New-York le perfectionnement de sa machine, M. Dutremblay a mis en service courant sur la Méditerranée son bateau à vapeurs combinées d'eau et d'éther. Le rapport de MM. les ingénieurs Moutet, Ville et Meissonnier, constate les résultats suivants : la machine a 70 chevaux de force ; pendant 36 heures d'expérience, la consommation de houille s'est élevée par cheval et par heure à 1 kil. 11 avec l'accouplement des deux vapeurs, et 4 kil. 31 quand on a fait fournir la force de 70 chevaux à la machine à vapeur seule. On a tiré de ce rapprochement de trop favorables conclusions. En effet, il est manifeste que la machine chargée de fournir à elle seule la force produite ordinairement par les deux appareils accouplés ne peut y être amenée qu'en la forçant, ce qui conduit toujours à un excès de consommation anormal.

Quoi qu'il en soit, c'est pour les systèmes d'Ericson et Dutremblay un beau succès que de pouvoir, dès leur début, s'assimiler à la machine à vapeur, qui compte un demi-siècle de perfectionnements.

J'arrive maintenant aux machines à vapeur rotatives que M. Rennie, l'un des plus éminents constructeurs anglais, prétend, dit-on, substituer aux machines à mouvements rectilignes dans les navires à hélice et pour tout travail rapide en général.

Il résulterait, suivant lui, d'expériences multipliées, que les meilleures machines à mouvements rectilignes alternatifs rendent 25 à 30

pour cent moins d'effet utile dans la conduite des hélices que plusieurs des machines rotatives connues.

Le système rotatif admis par M. Rennie est l'appareil de Bishop, remarqué à l'exposition de Londres, et consistant en un disque chassé par la vapeur circulairement entre deux cônes opposés par leur sommet. Il en existe déjà dans plusieurs usines et manufactures, notamment dans un moulin à Lewisham, où il a travaillé comparativement avec une machine à balancier construite par Penn. Il résulte du rapport de l'ingénieur Farey, daté du 5 juillet 1849, que la machine, fonctionnant à haute pression, a rendu 15 à 16 chevaux avec 105 tours par minute, et que, sous tous les rapports, l'essai a été très satisfaisant. Du même rapport, d'un mémoire descriptif de M. Dempsy et d'un article du *Times* daté du 14 février 1852, il résulte que, depuis 1845, les machines à imprimer ce journal sont mues par le système Bishop avec un succès qui a fait abandonner l'ancien moteur, lequel dépensait près de 18 pour cent plus de combustible. Le même succès, ajoute le *Times*, a signalé l'établissement par Rennie de ce même système dans la blanchisserie de Hanwood, près Shrewsbury.

Plusieurs navires à hélice le possèdent pour moteur, notamment la *Minx*, petit yacht de 16 chevaux construit en 1850 pour le pacha d'Egypte. Voici les principales dimensions :

Longueur de la coque en fer	16 ^m
Largeur id.	2.10
Tirant d'eau, en avant	1.35
Id. en arrière	1.85
Pression de la vapeur dans la chaudière	2 ^{at.} 1/2
Diamètre du disque de la machine.	0 ^m .786
Diamètre de l'hélice à 4 branches .	1.525
Pas de l'hélice	1.118

Pour une force de 300 chevaux, ajoute Rennie, une machine à

vapeur, non compris la chaudière, les soutes, l'hélice et son arbre, pèserait ce qui suit :

Système ordinaire rectiligne avec engrenage. 60 tonnes.

Id. direct sans engrenage. 40 id.

Nouveau système rotatif 30 id.

La hauteur occupée dans la coque est la même pour les trois machines; la dernière occupe moitié moins de superficie que les deux autres.

Voici maintenant le résultat des expériences :

Un extrait de lettre de l'amirauté anglaise, signée Hamilton et datée du 7 mars 1850, transmet à M. Rennie ce qui suit : « J'ai l'ordre des lords commissaires de l'amirauté de vous envoyer ci-joint le détail des essais effectués sur une machine alternative et la machine à disque, à bord de la Minx, desquelles il résulte que la machine à disque n'a pas été trouvée inférieure à la machine ordinaire. »

Avec celle-ci le bateau a filé, dans trois expériences, de 4 nœuds à 4.6 nœuds, et avec la machine rotative à disque le sillage a été 4.6 nœuds la première fois. Dans un second essai, la pression ayant été élevée à 4^{at.}, le sillage atteignit 5.48 nœuds, la machine donnant 150 tours par minute.

On a comparé ensuite les quantités d'eau vaporisées par les deux machines, la même chaudière (type des locomotives) servant dans toutes les expériences. Voici le sommaire des résultats :

DÉSIGNATION.	Machine	
	alternative.	rotative.
Durée de l'essai	11h.56	12h.33
Nombre de tours par minute	111.1	110.7
Pression moyenne	2 ^{at.} 5	2 ^{at.} 5
Quantité d'eau dépensée par cheval et par heure . .	28 ^{k.} 33	27 ^{k.} 22
Quantité de coke par heure et par cheval.	»	3.40

De nouveaux essais ont semblé à M. Rennie si concluants, qu'il n'hésite plus à faire aux navires à hélice et à toutes machines rapides l'application exclusive de la machine rotative à disque de Bishop.

III. CONDITIONS A REMPLIR PAR LES MACHINES DANS LES NAVIGATIONS A VAPEUR.

Dire que les machines à vapeur marines doivent, plus que toutes autres, être peu volumineuses, peu pesantes, économiques et exemptes de secousses, c'est poser un axiome.

Cependant, quand on les compare aux machines fixes employées dans les manufactures et aux locomotives, l'avantage est loin d'être en leur faveur.

Ce n'est pas dans les machines fixes qu'il faut chercher la réduction du poids et du volume, car elles sont rarement limitées sur ces deux points. Mais les locomotives, dont la puissance atteint, nous le verrons, près de 300 chevaux de force, et qui ne pèsent pas plus de 24 tonnes, machine et chaudière comprises, ne sont-elles pas la sanglante critique des énormes appareils à basse pression dont la marine conserve l'usage? car, où est-il plus nécessaire d'économiser l'espace et le poids mort que dans un navire, et quel n'y est pas le prix d'un simple mètre cube rendu au chargement utile?

Quant à l'économie de combustible, on se tient pour content dans la navigation quand la dépense n'excède pas 2^k.5 à 3^k. de bonne houille par cheval et par heure, la machine et la chaudière étant d'ailleurs en bon état.

Parmi les machines fixes, on sait qu'il n'est plus rare de ne pas excéder la dépense de 1^k. et que les pompes à feu du Cornwall l'ont même abaissée jusqu'à 0.6 avec un combustible médiocre. Les machines de Farcot et de Legavriant, qui, sur le rapport de M. Le Chatellier, ont obtenu le prix de la Société d'encouragement, ont dépensé :

La machine de Farcot. 1^k.50

La machine de Legavriant. 1^k.32

Le premier de ces deux constructeurs garantit habituellement une dépense de 1^k.50 à 2^k., et l'une de ses dernières machines n'a même consommé que 1^k.106, comme les machines d'Ericson et de Dutremblay. Cette économie n'est pas même un fait nouveau en industrie ; il existe à Elbeuf, dans la manufacture de M. Félix Aroux, une machine anglaise de Sims dont la consommation régulière, égale à 1^k.60, s'est même abaissée à 1^k.50. On pourrait multiplier beaucoup ces exemples.

Comment les constructeurs obtiennent-ils de pareils résultats ?
C'est :

1° En développant le plus largement possible les proportions de la chaudière ;

2° En utilisant largement la détente ;

3° En protégeant contre le refroidissement extérieur avec un soin minutieux les chaudières, les cylindres, les conduits (1) ;

4° En neutralisant tous les effets perturbateurs capables de troubler le jeu du mécanisme en mouvement et qui consomment une partie du travail moteur.

Est-ce ce qui existe dans les machines marines ? Non.

Tandis qu'il n'y a plus de machines fixes, même sur les houillères, qui n'ait au moins 1^mq.50 de chauffe et 5 décimètres carrés de grille par cheval, beaucoup de chaudières de navire ont à peine un mètre carré de chauffe et 2 décimètres carrés de grille, dans des appareils qui ne sont pas toujours favorables à la vaporisation, soit à cause du peu d'énergie du tirage, soit en raison de la multiplicité des conduits où la flamme et les gaz chauds circulent avec peine.

Aussi voit-on que les machines marines pèchent souvent par insuffisance des chaudières, et que leurs cheminées répandent des torrents de fumée, preuve d'une combustion incomplète, qu'on ne tolérerait certainement pas dans les manufactures.

(1) Voyez sur cette importante question les observations de M. Le Chatellier, Bulletin de la Société d'encouragement.

Le même désir de restreindre le poids et le volume de l'appareil a aussi empêché les constructeurs de donner à la chambre de vapeur des dimensions suffisantes et de protéger les cylindres et les conduits par des doubles enveloppes, ainsi qu'il se pratique dans les machines fixes construites en vue d'économiser le combustible avec un soin particulier.

Or, soit seulement 0^{ki}.5 l'économie qu'on pourrait obtenir par cheval et par heure dans un navire de 950 chevaux, tel que le Napoléon, l'économie totale serait 11 tonnes et demie par jour et 345 tonnes par mois; soit, à raison de 25 fr. la tonne, 8,625 fr. d'économie mensuelle. De tels chiffres n'ont pas besoin de commentaires, et il demeure prouvé qu'aucun des moyens connus pour économiser le combustible ne peut être négligé dans la navigation à vapeur, fût-ce en augmentant la proportion des appareils, ce que permet sans difficulté le type de machine en faveur duquel nous concluons ci-après.

Enfin les machines à vapeur employées dans la navigation sont inférieures aux machines fixes par les secousses et les vibrations qu'elles impriment à la coque, secousses aussi nuisibles à la conservation de celle-ci qu'au rendement de travail du moteur. Indépendamment des causes de vibrations inhérentes à la construction de la coque et au propulseur, on peut en distinguer deux spéciales à la machine :

1° Souvent on les assoit mal sur des bases trop faibles, des supports et des bâtis trop peu rigides.

2° On laisse toute liberté de se développer à certaines actions perturbatrices qui se produisent dans le mécanisme en mouvement.

Examinons ces deux points en détail.

§ I. *Insuffisance des bâtis et des supports.*

Ce n'est pas assez pour des bâtis de pouvoir résister aux ruptures. S'ils éprouvent des vibrations sous l'action des tiraillements qu'imprime au mécanisme le jeu alternatif du piston, ces vibrations se transmettent à la coque et se traduisent en secousses. Il est inconce-

vable à quel point certains appareils de navigation vibrent, s'ébranlent et sont détraqués au bout d'une ou deux campagnes par le fait d'une installation vicieuse sur des bases et des supports insuffisants.

Tandis que des machines fixes de 25 et 30 chevaux sont établies à terre, sur 5 mètres cubes et plus de fondations en bonne maçonnerie, il existe des machines de bateaux de plus de 100 chevaux assises et fixées par quelques boulons sur deux simples longuerines de bois de 10 décimètres carrés de section, qui n'ont pas même le mérite d'être convenablement reliées à la coque; rien n'est ménagé ni pour rendre la machine solidaire du navire dont elle doit suivre les mouvements, ni pour empêcher que le jeu de la coque, qui se tourmente après quelque temps de service, ne dérrange la symétrie du mécanisme.

Cette insuffisance d'assise et de bâtis, cette imperfection dans les moyens d'unir la machine à la coque, sont d'autant plus regrettables, que la pratique ne peut accepter entièrement le système, si rationnel en théorie, des machines distribuées sur de très vastes bases. On tombe même parfois à cet égard dans l'exagération. S'il est utile d'abaisser le centre de gravité du moteur, s'il convient, dans les navires à hélice, d'en installer les parties principales sous la flottaison, il faut en même temps craindre de réduire sans nécessité le tonnage utile. Or comme il ne peut généralement exister aucuns emménagements au dessus de la machine, toute dispersion du mécanisme en surface laisse au dessus jusqu'au pont toute la partie correspondante inoccupée.

Il existe un type de support et d'assise éminemment rationnel attribué à Joseph Penn, et auquel les steamers de ce constructeur doivent, sans doute en grande partie, leur douceur de mouvement et cette régularité de montage qui se conserve pendant plusieurs années, malgré l'activité du service.

Tel que nous l'allons décrire, il n'est applicable qu'aux bâtiments à roues; mais les machines qui conduisent des hélices peuvent aisément lui emprunter son principe.

Ce qui caractérise ce système, c'est l'installation de la machine en-

tière entre deux plates-formes superposées et entretroisées avec une rigidité parfaite par quatre paires de colonnettes, auxquelles s'ajoutent des croix de Saint-André. La plate-forme inférieure porte, dans les bâtiments à roues, les cylindres et les condenseurs ; elle repose sur deux fortes varangues. La plate-forme supérieure sert d'assise commune à tous les paliers de l'arbre moteur ; elle est fixée entre deux baux de fortes dimensions, qui correspondent aux varangues.

Ainsi encadrée dans le navire, la machine en suit toutes les oscillations. Elle forme en outre un tout qu'on transporterait au besoin sans en démonter une pièce, et qui conserve sa symétrie sans souffrir du jeu que peut prendre la coque.

Rien sans doute n'est négligé dans le bâtis en question pour l'alléger par des évidements de matière ; mais il est si vrai que jamais la force n'est sacrifiée à la légèreté, que les colonnettes reliant les plates-formes ont une section au moins double de celle que leur assigneraient les calculs connus, notamment les nouveaux tableaux du général Morin, lesquels ne contiennent, il le dit lui-même, que des principes généraux, modifiables suivant les circonstances.

On sait au surplus que la rigidité des supports est un fait qui caractérise essentiellement les types des constructeurs anglais. Plusieurs d'entre eux avouent hautement qu'ils n'hésitent pas à lui sacrifier même la simplicité des appareils, et telle est la cause de cette prétendue négligence à alléger les machines, qu'on leur a reprochée. Cette tendance n'appartient pas seulement aux machines de navigation ; on la trouve dans les locomotives et dans les machines-outils. Dans les locomotives, depuis la simple et légère tanck-engine des petits embranchements jusqu'à la machine à grande vitesse, qui exige un surcroît de force et de solidité, on retrouve presque partout les lourds et compliqués châssis à double longeron que nos ingénieurs, MM. Polonceau et Buddicom exceptés, n'appliquent guère en France que dans les machines Crampton.

Le renforcement des bâtis dans les machines-outils de Sharp, Collier, Smith, Withworth, a été remarqué à l'exposition de Londres ;

quelques uns, comme Curtis, vont même jusqu'à l'exagération ; or, qu'est-ce que les oscillations de toutes ces machines auprès de celles qu'éprouvent les appareils de navigation, si exposés en outre à souffrir du jeu de la coque ?

L'allègement démesuré des bâtis et des bases d'assise, le défaut de solidarité entre la machine et la coque, sont donc des conditions essentiellement mauvaises dans la navigation.

§ 2. *Actions perturbatrices.*

Comme les locomotives, les machines de bateaux développent des actions perturbatrices horizontales et verticales aujourd'hui bien connues. On a pu les négliger dans les petits appareils d'autrefois, où les organes avaient peu de masse et de vitesse ; mais il est d'autant plus impossible de les laisser subsister dans les grandes machines employées aujourd'hui, que le système mécanique dont elles troublent les fonctions est plus ou moins bien assis dans une coque, qui elle-même est loin d'être absolument rigide et est en outre immergée dans un milieu éminemment mobile, où le moindre mouvement change sa position, en un mot sur la plus instable des bases.

La première et la plus facile à éviter des actions perturbatrices signalées est la variation de travail résistant, due à l'action de la pesanteur des organes non équilibrés, qui s'ajoutent en résistance à la montée du piston et accélèrent sa chute dans le cylindre. Elle peut aller jusqu'à 2000^{km} dans un appareil de 800 chevaux de certains systèmes. La machine de Watt, à balanciers latéraux, se distinguait par ce merveilleux équilibre des organes entre eux ; aussi a-t-elle été long-temps le type exclusivement admis dans la navigation, et il est à regretter que les systèmes nouveaux ne l'aient pas toujours imitée en ce point.

La deuxième cause d'actions perturbatrices contient les forces centrifuge et d'inertie des organes en mouvement.

Elles ont été analysées avec une précision qui ne laisse plus rien à dire sur ce point, non plus que sur les contre-poids qui les détrui-

sent dans les locomotives (1). Pourquoi les mêmes procédés ne réussiraient-ils pas dans la navigation ? La question ainsi posée, examinons si, en raison de la masse considérable que possèdent les organes à équilibrer, l'application des contre-poids est permise par la pratique, et s'il n'en résultera pas un accroissement démesuré de calaison. Je vais prendre l'exemple d'un des plus instables bateaux de rivière, où tout se réunit pour assigner aux contre-poids d'énormes dimensions. La machine de 200 chevaux de puissance ne comporte qu'un seul cylindre, où le piston se meut avec 1^m.50 de vitesse et 2^m.50 de course; les organes en mouvement horizontal sont nombreux et très-lourds; en un mot, voici les données pour le calcul des contre-poids :

Rayon de la manivelle	1 ^m .25
Rayon des roues	2.80
Poids approximatif du piston. . . .	1,250 ^k .
Id. des tiges, des T, des glissières, etc.	460
Id. des manivelles et leur soie . . .	980
Id. de la bielle, comptée seulement pour la moitié	220
	<hr/>
	2,910 ^k

Deux moyens se présentent pour installer les contre-poids à l'opposé des manivelles : on peut les fixer ou bien à l'extrémité du rayon des propulseurs, ou bien sur l'arbre moteur en forme de contre-manivelles terminées par une boule ou une lentille. Ce dernier procédé, dont les petites locomobiles de M. Calla offrent un très bon type, est le seul qui paraisse applicable aux machines qui conduisent des hélices, surtout quand celles-ci doivent être affolées sur leur arbre ou débrayées et enlevées dans un puits, comme la corvette *le Chaptal* et le vaisseau anglais *le Blenheim* en offrent l'exemple. Mais, pour les bateaux à roues, la place naturelle des contre-poids est à l'extrémité des rayons de ces mêmes roues sur les palettes.

(1) *Mémoires sur la stabilité des locomotives*, par MM. Le Chatellier, Yvon-Villarceau, Couches, etc.

Les contre-poids diminuant en raison inverse des bras de leviers, ils deviendront

$$Q = \frac{Pl}{r},$$

Q étant le contrepoids demandé en kil.,
 l le rayon de la manivelle compté du centre de l'arbre au centre de la soie,
 r le rayon utilisable du contre-poids, compté du centre de l'arbre au centre de gravité du contre-poids.

Donnons *a priori* 0^m.20 de largeur à celui-ci : le centre de gravité, placé ainsi à 0^m.10 de l'extrémité du rayon de la roue, réduira celui-ci à la quantité $r = 2^m.70$, le rayon de la manivelle restant $l = 1^m.25$. La formule réduit le contre-poids réel à la valeur

$$Q = \frac{1.25 \times 3910}{2.70} = 1,810 \text{ kilog.},$$

dont moitié pour chaque roue, à placer sur les palettes opposées aux manivelles, soit

$$\frac{1810}{2} = 905 \text{ kilog.}$$

De là se déduisent les dimensions de chaque contre-poids fabriqué en plomb, lesquelles sont :

Volume	$\frac{905}{11.4} = 79$ déc. cubes
Longueur (égale à celle des palettes) . . .	3 ^m .50
Largeur (<i>a priori</i>)	0.20
Épaisseur	0.21

Voyons maintenant quel sera sur le tirant d'eau l'effet de la surcharge due aux contre-poids. Si le bateau pris pour exemple était prismatique, la surface plongeante étant $s = 450^m^2$, l'enfoncement h que lui imprimerait dans l'eau chaque tonne de charge serait

$$h = \frac{1^t}{250} = 0^m.0022.$$

Mais, en raison de l'effilement des façons extrêmes, le volume immer-

gé réel n'est guère que les 0.70 du parallépipède circonscrit à la coque. Corrigeant donc par ce coefficient l'enfoncement supposé tout à l'heure, la calaison par chaque tonne de charge est en définitive

$$h = \frac{0^m.0022}{0.7} = 0^m.003.$$

Et par conséquent les deux contre-poids augmenteront le tirant d'eau de la valeur

$$h = 1^s.810 \times 3 = 0^m.005430,$$

en nombre rond, 6 millimètres, quantité tout à fait insignifiante, surtout si l'on parvient à atténuer par les contre-poids les mouvements de bascule qui augmentent accidentellement la section résistante, et si l'on se rappelle qu'un des mérites des contre-poids de M. Le Chatellier dans les locomotives a été de leur faire rendre plus de travail utile.

Fût-on forcé de les employer sous formes de contre-manivelles établies sur l'arbre, sans pouvoir les réduire en raison inverse des bras de levier, l'accroissement de calaison ne dépasserait pas encore la quantité

$$h = 3^s.910 \times 3 = 12 \text{ millimètres}$$

en nombre rond, qui, pour un bateau de 200 chevaux, n'est assurément pas exagérée, même pour les bateaux de rivière, où le faible tirant d'eau est la condition capitale.

Observons, en outre, que ces calculs se rapportent à une machine où tout se réunit pour exiger d'énormes contre-poids; mais ils reviendront à des dimensions modérées si, conformément au conseil de M. Le Chatellier, on s'attache par de judicieuses dispositions à alléger, autant que le permet la solidité, le poids des organes à équilibrer.

La question des contre-poids appliqués aux machines de bateaux pour détruire leurs secousses n'est pas, au surplus, sans précédents dans la pratique. De même qu'avant les études de M. Le Chatellier sur la stabilité des locomotives, Sharp et quelques autres construc-

teurs adaptaient aux roues des petits contre-poids insuffisants, de même aussi les roues à aubes de quelques vieux bateaux portaient sur leur rayon de roues un contre-poids évidemment appelé à jouer le rôle de volant, quoiqu'on ne sache pas bien les conditions qui présidaient à leur établissement.

Autre fait : la machine du *Chaptal*, pourvue d'une quadruple machine horizontale à cylindre fixe de 0^m.80 de course, et donnant 70 coups de piston par minute, secouait à l'origine assez durement; le constructeur et le commandant convinrent de changer l'arbre et d'équilibrer les manivelles, seulement les manivelles par des contre-poids opposés venus de forge avec l'arbre, et d'un très beau travail. Et je tiens du capitaine que les secousses ont très notablement diminué.

Plus récemment encore, M. Mazeline a, dans les machines du *Primauguet*, adapté des contre-poids également en forme de contre-manivelles neutralisant les actions perturbatrices horizontales, suivant la théorie de M. Le Chatellier. Ces machines ont une merveilleuse douceur d'allure. A la vérité, l'installation des quatre cylindres accouplés sur quatre manivelles, ainsi qu'il a été expliqué, contribue beaucoup à ce calme de mouvement. C'est ce qui va être démontré.

3° Il existe dans les bâtiments à vapeur une cause de secousse dont il me reste à parler, et qui affecte singulièrement certaines machines. Quand on considère le mouvement du piston dans son cylindre où la vapeur fonctionne *avec détente*, voici le phénomène que l'on constate : au début de la course, le piston part rapidement; puis sa vitesse décroît jusqu'au point mort, au delà duquel il repart avec sa vitesse instantanée, agissant ainsi par des saccades et soubresauts qu'un ouvrier comparait à l'action d'un homme agissant par *coups d'épaule* contre une résistance.

Chacun a reconnu là l'effet de la détente dans les machines non pourvues de volants. Je ne crains pas d'affirmer que c'est la plus fréquente cause des secousses éprouvées par les coques. Et la preuve

en est que l'époque des secousses signalées dans certains bateaux, bien établis d'ailleurs, correspond précisément à celle de l'emploi des machines à grande détente.

Est-ce dire qu'il faut régulariser les variations de pression par de lourds volants, comme dans les machines fixes? L'addition de ces organes, inadmissibles dans les appareils à rotation lente, ne serait peut-être pas impraticable avec le système des machines rapides dont il va être parlé; mais, sans aborder cette question, je me contenterai d'examiner quelle peut être, pour arriver au même but, l'influence de l'accouplement des cylindres.

Soient données trois machines à vapeur : l'une à basse pression de 1000 kil. par mètre carré, avec détente à moitié course, et deux cylindres conjugués à angle droit; la deuxième également à deux cylindres accouplés à angle droit, mais à haute pression de 4000 kil. par mètre carré, avec détente au dixième; la troisième ayant la même pression et la même détente que la précédente, mais à quatre cylindres, conformes au système de M. Mazeline, c'est-à-dire accouplés de telle manière qu'un cylindre étant à fond de course, les trois autres soient au quart, à la moitié, aux trois quarts de leurs courses respectives.

Voici quelles seront la somme des pressions à chaque dixième de la course de l'un des pistons et la différence de ces mêmes pressions d'un dixième à l'autre de cette course, les pressions étant calculées d'après la loi de Mariotte, abstraction faite, pour la simplicité, du refroidissement des cylindres dans la détente.

1^o Machine à deux cylindres avec détente à moitié course.

FRACTIONS DE LA COURSE	Pression dans le		Somme des deux pressions	Différence des pressions entre les 10 ^e
	1 ^{er} cylindre	2 ^e cylindre		
1 ^{er} dixième de la course	4,000 ^k	833 ^k	4,833 ^k	— 119 ^k
2 ^e — —	4,000	714	4,714	— 89
3 ^e — —	4,000	625	4,625	— 70
4 ^e — —	4,000	555	4,555	— 55
5 ^e (commencement de la détente)	4 000	500	4,500	
6 ^e dixième de la course.	833	4,000	4,833	+333
7 ^e — —	714	4,000	4,714	— 119
8 ^e — —	625	4,000	4,625	— 89
9 ^e — —	555	4,000	4,555	— 70
10 ^e — —	500	4,000	4,500	— 55
1 ^{er} dixième de la course suivante.	4,000	833	4,833	+333

2^o Machine à deux cylindres avec détente commençant au premier dixième de la course.

FRACTIONS DE LA COURSE	Pression dans le		Somme des pressions	Différence
	1 ^{er} cylindre	2 ^e cylindre		
1 ^{er} dixième (commencement de la détente du 1 ^{er} cylindre).	4,000 ^k	666 ^k	4,666 ^k	— 2,094 ^k
2 ^e — —	2,000	572	2,572	— 639
3 ^e — —	1,333	500	1,833	— 389
4 ^e — —	1,000	444	1,444	— 244
5 ^e — —	800	400	1,200	
6 ^e (comm. de la détente au 2 ^e cylind.)	666	4,000	4,666	+3,466
7 ^e — —	572	2,000	2,572	— 2,094
8 ^e — —	500	1,333	1,833	— 639
9 ^e — —	444	1,000	1,444	— 389
10 ^e — —	400	800	1,200	— 244
1 ^{er} dixième de la course suivante.	4,000	666	4,666	+3,466

3° Machine à quatre cylindres avec détente au dixième

FRACTIONS DE LA COURSE	Pression dans les cylindres				Somme des pressions	Différence
	1	2	3	4		
1 ^{er} (Détente au 1 ^{er} cylindre.)	4,000 ^k	470 ^k	666 ^k	1,143 ^k	6,279 ^k	-2,398
2 ^e	2,000	421	572	888	3,881	
3 ^e — —	1,333	4,000	500	727	5,660	+1,779
(Détente au 2 ^e cylindre.) . . .						- 935
4 ^e	1,000	2,666	444	615	4,725	-1,392
5 ^e — —	800	1,600	400	533	3,333	
						+2,946
6 ^e (Détente au 3 ^e cylindre.)	666	1,143	4,000	470	6,279	-2,398
7 ^e — —	572	888	2,000	421	3,881	
8 ^e — —	500	727	1,333	4,000	5,660	+1,779
(Détente au 4 ^e cylindre.) . . .						- 935
9 ^e — —	444	615	1,000	2,666	4,725	-1,392
10 ^e — —	400	533	800	1,600	3,333	
						+2,946
1 ^{er} dixième de la course suiv.	4,000	470	666	1,143	6,279	

La comparaison des trois tableaux conduit à deux conclusions que voici :

1° La différence entre la pression finale d'une course et la pression initiale de la course suivante dans chaque cylindre, négligeable aux faibles détentes, acquiert aux grandes détentes une énorme valeur, qui, dans l'espèce, va du simple au décuple dans chaque cylindre, et donne bien naturellement la raison de ces soubresauts du piston comparés à des coups d'épaule. S'il n'y a qu'un seul piston moteur dans la machine, ainsi qu'il se pratique souvent, cet effet se développe en pleine liberté.

2° Deux cylindres dont les pistons commandent des manivelles à angle droit suffisent lorsque la détente ne précède guère la moitié de la course; s'il n'y a pas uniformité parfaite, les sommes de pressions,

à chaque instant de la course, offrent cependant assez peu de variations. Mais, quand la détente est très prolongée, deux cylindres ne régularisent guères mieux le mouvement qu'un seul; il y a nécessité d'accoupler au moins trois cylindres. Mais ce n'est évidemment pas en les accouplant sur deux paires de manivelles à angle droit, ainsi qu'il se pratique souvent, qu'on résoudra le problème. Y'eût-il dix cylindres, ce ne serait jamais qu'une double machine divisant la force entre plusieurs pistons.

La seule disposition rationnelle est l'installation de la quadruple machine de M. Mazeline, dans le *Primauguet*, qui a servi de base au troisième tableau.

Ici se place une des plus graves questions qui puissent intéresser la navigation à vapeur, car elle touche à l'allègement, à la simplification et à la stabilité des machines. Je veux parler de la multiplicité des cylindres moteurs dans un même appareil. Il en existe en général deux; on les a souvent portés à quatre; on parle d'augmenter ce nombre. Mais des constructeurs de mérite et d'expérience incontestés regardent comme très suffisant l'emploi des machines uniques.

Tel était le système des premiers bateaux à vapeur; ce fut longtemps en Angleterre celui de Napier; il est très usité en Amérique. Exemple, le *Naswhill*, steamer transatlantique de New-Yorck au Havre; en France, il reprend grande faveur, principalement sur les rivières; les nouveaux bateaux porteurs de Gâches, la plupart des bateaux du Creusot, le yacht impérial lui-même, qui arrive de ses chantiers, ne possèdent que des machines uniques. Le navire à hélice anglais le *Bordeaux*, du port du Havre, ne possède également qu'une seule machine, ou, ce qui revient au même, deux cylindres dans les pistons agissant sur une seule et même manivelle.

Personne ne conteste toutefois le mérite de la multiplicité des cylindres au point de vue du service pour les bâtiments de la marine qui font de longues traversées: car, s'il survient des avaries à l'une des machines, loin de tout secours, ou s'il y a nécessité de procéder à des nettoyages, réparations de garnitures, etc., le service se conti-

nué avec la machine intacte pendant qu'on travaille à l'autre.

C'est pourquoi toutes les machines accouplées devraient être installées de manière à pouvoir fonctionner au besoin avec une entière indépendance l'une de l'autre, en sorte qu'il suffise pour les isoler de détacher rapidement un petit nombre d'organes.

Cette condition est cependant rarement bien remplie. Dans beaucoup de doubles et quadruples machines, malgré la division de la force, les cylindres et leur mécanisme correspondant sont mutuellement solidaires par une multitude d'organes communs. On manque donc le but proposé.

Les cas des bâtiments où la multiplicité des cylindres est nécessaire ne sont pas généraux. Sur les rivières et les canaux, en mer pour le cabotage et les courtes traversées, pour le service omnibus dans l'intérieur des villes, une seule machine est assurément suffisante, et nous devons examiner la valeur de ce système en lui-même.

Disons d'abord que la dimension des cylindres à laquelle on sera parfois conduit n'est plus en question : l'expérience des constructeurs, leur outillage, l'exemple des machines soufflantes, où les cylindres de 3^m.00 de diamètre ne sont pas rares, et celui de la fameuse machine d'Ericson, où les cylindres ont 4^m. de diamètre (1) et 3^m. de longueur, prouvent que la dimension des cylindres n'est plus une objection aux machines uniques.

La raison capitale mise en avant contre leur emploi dans la navigation, notamment par l'auteur anglais R. Murray, est qu'elles sont la principale cause de ces secousses violentes qu'éprouvent souvent les coques, et dont trop peu de constructeurs s'inquiètent; il s'ensuit, conclut Murray, que l'emploi des machines uniques est tout au plus acceptable pour des remorqueurs ou des bateaux de transport.

Mais on peut répondre d'abord que rien n'est moins concluant que l'exemple des bateaux à une machine cités pour leurs secousses : car je puis affirmer que, dans ceux que j'ai pu examiner, ces secousses

(1) Les constructeurs américains Hogg et Delamatter ont proposé, dit-on, de les porter à 5^m de diamètre.

s'expliquaient par les défauts de construction ci-dessus signalés, tels que la vicieuse installation de la machine ou des propulseurs, l'excès de longueur de la coque, etc.

Ensuite, les secousses en question étaient à peu près inconnues aux anciens bateaux qui ont popularisé la navigation à vapeur sur nos rivières : témoin les *Hirondelles* de la Loire et les *Parisiens* de M. Cochot. Ils n'avaient qu'une seule machine, et aujourd'hui encore je pourrais citer des bateaux à double machine beaucoup plus instables, beaucoup plus durs à la marche, que leurs concurrents à machine unique, en mer ou en rivière.

Enfin les machines fixes des manufactures, à cylindre unique, si sujettes cependant à des variations instantanées de travail, sont remarquables par le calme et la régularité de leurs mouvements. Pourquoi les machines uniques de bateau secoueraient-elles? C'est, dirait-on, parceque ces variations de travail sont compensées par un volant, véritable réservoir de force vive qui emmagasine ou restitue à propos le travail moteur.

Voilà en effet la vraie solution du problème : les machines uniques secouent parceque les actions perturbatrices énoncées plus haut ont pleine liberté de se développer ; il est rationnel d'espérer qu'en les détruisant par des contre-poids, en équilibrant entre eux les organes avec un soin tout particulier, les machines atteindront, sinon la régularité parfaite des machines fixes, pourvues de volants, du moins une stabilité suffisante pour la navigation.

IV. ALLÈGEMENT DES MACHINES A VAPEUR DANS LA NAVIGATION.

Comment les constructeurs ont-ils cherché à résoudre ce problème ?

Les uns, préoccupés avant tout de diminuer le tirant d'eau, ne pouvant réduire le poids de l'appareil, ont allégé la coque, même aux dépens de sa solidité.

D'autres lui ont donné cette interminable longueur dont j'ai

signalé les vices dans mon premier mémoire. Le peu de profondeur des voies fluviales a pu y forcer parfois. Mais il est inutile de prouver qu'en mer un semblable système est plein de dangers.

D'autres enfin, après s'être absolument posé cette règle, que les bielles et la course du piston ne sauraient avoir trop d'amplitude, ont dû faire porter leur réduction sur la chaudière et les bâtis. L'inconvénient de ce système a été démontré. Il ne reste donc plus, pour alléger les appareils de navigation, qu'à prendre la locomotive pour point de départ, c'est-à-dire augmenter la pression initiale et la vitesse des organes, en restreignant leur amplitude, leur poids et leur dimension dans des proportions considérables, qui laisseront aux chaudières, aux bâtis et à la coque, toutes les dimensions voulues pour la rigidité et l'économie. Tel est cependant le système qui rencontre le plus d'adversaires et de préjugés. Sans doute on a fait d'immenses progrès dans cette voie, relativement à ce qui se pratiquait il y a dix ans; mais, tandis que beaucoup de constructeurs veulent avancer vers une plus complète assimilation des machines marines avec les locomotives et les machines fixes qui se construisent aujourd'hui, c'est plutôt une tendance rétrograde qu'on signale en France et en Angleterre dans les administrations publiques.

Et cependant il est facile de reconnaître en premier lieu que ce système est le seul qui puisse donner une économie sérieuse de poids et de volume. Soient données deux machines de 200 chevaux, l'une à basse pression et à amples mouvements, l'autre à haute pression, grande détente et rotation rapide. C'est être assurément plutôt en dessous qu'au dessus de la vérité que d'estimer à 10 tonnes la différence de poids en faveur du deuxième système. Quant à la différence de volume, elle ira souvent du simple au triple. Et, dans bien des cas, tels que celui des bateaux de rivière, ces différences de poids et de volume suffiront pour causer de graves embarras.

On a fait au système proposé trois sortes d'objections, relatives à l'élevation de la pression, à la vitesse et à la multiplicité des coups du piston, enfin à la stabilité de la machine.

1° L'emploi des hautes pressions avec détente est aujourd'hui exclusif à terre : pourquoi la navigation persévère-t-elle seule dans l'usage des basses pressions ?

Au point de vue de la sécurité, cette préférence n'est plus qu'un vieux préjugé. Les statistiques constatent que la presque-totalité des explosions de bateaux, en France et en Angleterre, ont eu lieu avec des chaudières à basse et très basse pression. Faut-il l'attribuer à ce que la prudence des mécaniciens s'endort sur ces appareils réputés sans dangers, ou à ce qu'il est moins aisé de forcer la pression jusqu'à la rupture dans les épaisses chaudières timbrées à plusieurs atmosphères ? Peu importe, la statistique est concluante.

Les chaudières à haute pression rayonnent, dit-on, dans la chambre de la machine une intolérable chaleur, et le tartre salin les met vite hors de service.

Le premier inconvénient a son remède dans l'enveloppe des chaudières, ainsi que dans une ventilation convenable. Celle-ci est rarement suffisante, même dans les navires à basse pression ; et, s'il y a quelques exemples de bateaux jouissant pour les mécaniciens d'une installation commode, on apporte trop souvent peu de soins à protéger les chauffeurs contre les dangers de leur périlleux métier.

La prompte mise hors de service en mer par l'accumulation du tartre dans les générateurs timbrés à plusieurs atmosphères pouvait être une objection sérieuse dans le temps où l'on employait les machines à haute pression sans condensation, parcequ'on était alors forcé d'alimenter exclusivement avec l'eau salée. Mais, devant l'emploi exclusif des machines à détente et à condensation, joint à la disposition des chaudières facilitant une rapide circulation d'eau, l'objection perd presque toute sa force ; elle disparaîtra complètement si, au lieu d'employer un seul générateur, on divise la vaporisation entre plusieurs chaudières distinctes, dont chacune puisse être isolée et nettoyée pendant que les autres fournissent au besoin de la machine. Ce système, adopté dans toute les usines à terre, inutile dans les navires qui ne font pas de longues traversées, ne paraît susceptible

d'aucune objection grave dans les grands bâtiments transatlantiques dont le service peut être très prolongé.

2^o Passons aux objections faites à l'accélération des machines. Elle nuit, dit-on d'abord, à l'efficacité des appareils condenseurs.

On peut premièrement répondre qu'on s'est exagéré cette inefficacité, et qu'on a mis sur le compte de la vitesse une imperfection de vide qu'une inspection plus minutieuse a expliquée ensuite par une insuffisance de dimensions et une vicieuse installation des appareils.

Ensuite il est prouvé par de nombreux exemples, notamment par ceux de la frégate anglaise l'Arrogant et la corvette française le Chaptal, depuis la modification des pompes à air, qu'avec 60 et 70 coups doubles par minute, les appareils condenseurs fonctionnent très bien, le vide obtenu est mesuré par un abaissement de 0^m.70 de mercure dans le baromètre. M. Farcot a même poussé jusqu'à cent le nombre de coups d'une pompe sans de graves inconvénients.

Le ferraillement et la destruction des clapets ont pu autrefois s'opposer à l'accélération des pompes à air; l'objection a disparu depuis l'emploi, aujourd'hui presque général, des clapets en caoutchouc vulcanisé. On a pu contester la durée de cette fermeture. Mais MM. Penn, Mazeline et Farcot m'ont dit n'avoir jamais eu qu'à se louer de son emploi, à moins que la matière ne soit de mauvaise qualité, ce qui est malheureusement assez fréquent. On ne saurait donc trop faire pour perfectionner cette substance, que tant d'industries se disputent.

Fût-il vrai qu'il y a danger de trop accélérer les pompes à air dans les machines rapides, l'industrie a plusieurs moyens d'y remédier. On sait comment M. Slauther, dans sa machine exposée à Londres en 1851, et M. Mazeline, dans les navires de l'état le Roland, la Biche et les bateaux à hélice de la Seine, ont réduit par des engrenages la vitesse communiquée par la machine aux pompes.

Pour les grands navires on pourrait emprunter à M. Flachet et à ses machines du chemin de fer atmosphérique l'idée de conduire les pompes à air ou autres par une machine auxiliaire distincte.

Ce procédé conviendrait d'autant mieux aux navires à vapeur qu'ils possèdent déjà, pour aider à l'alimentation des chaudières, une machine auxiliaire, dite petit cheval, bien qu'elle ait au moins 10 chevaux dans un grand navire, tel que le *Humbolt*. Il suffirait de la faire simplement plus puissante et de l'installer de manière à ce qu'elle fit jouer les pompes ensemble ou séparément.

Si l'on admet que la conduite de ces pompes absorbe approximativement dans une machine à condensation le dixième de sa puissance, on sera conduit à donner à la machine auxiliaire 20 chevaux pour une machine de 200, 80 chevaux pour une de 800. Ces conditions n'ont assurément rien d'inacceptable.

Il conviendrait, en outre, que la machine auxiliaire eût son axe perpendiculaire à l'arbre moteur, et qu'elle pût au besoin être mise en communication avec lui pour exécuter dans les ports des manœuvres parfois nécessaires, mais impossibles, si le moteur principal n'est pas en pression.

Par ce motif, et pour la commodité du service, il faudrait encore que la machine auxiliaire eût son générateur spécial et distinct, comme le petit cheval du *Franklin* a le sien. Il faudrait enfin que cette chaudière fût à haute pression, surtout si les générateurs de l'appareil principal sont à basse pression, comme on l'exige encore souvent. En voici la raison :

Nous avons déjà remarqué qu'en général le côté faible des bateaux à vapeur est l'impuissance des chaudières à fournir au besoin de la machine, ce qu'on attribue à la faiblesse du tirage, malgré les monstrueuses cheminées usitées, lesquelles restent encore insuffisantes. Deux bateaux de rivières sur la Saône nous en offrent la preuve. Dans l'un, les chaudières produisent peu de vapeur avec 1^m.20 de surface de chauffe, un tirage naturel par deux grosses cheminées, et une consommation de 5 kil. du combustible par cheval et par heure. Les chaudières de l'autre bateau, munies d'un tirage énergique et artificiel, fournissent au contraire au-delà des besoins de la machine avec 3 kil. de houille brûlée et 0^m.60 de surface de chauffe par cheval.

Que d'essais n'a-t-on pas tentés pour forcer le tirage par des moyens mécaniques ?

Vainement voulut-on, comme sur la Tamise et les fleuves lyonnais, emprunter à la chaudière un jet de vapeur pour activer le courant de gaz dans la cheminée. Cela n'est possible qu'avec les générateurs à pression de 3 atmosphères au moins. Eh bien ! ce que ne peuvent les chaudières de beaucoup de bateaux et de navires, celle qui accompagne la machine auxiliaire le ferait dès les premiers instants de l'allumage, et le problème serait résolu, même pour les constructeurs timides qui répugnent à employer d'autres chaudières que celles qui sont à basse pression.

En résumé, la machine auxiliaire et son générateur spécial, appliqués aux navires à vapeur, présenteraient, si je ne m'abuse, les avantages suivants :

La machine principale conserverait toute la liberté d'allure qui convient au propulseur.

La mise en marche, la purge des condenseurs, l'amorçage des pompes, l'embrayage de l'hélice, l'emplissage des chaudières, la vidange de la cale, les manœuvres à exécuter dans les ports, la mise en jeu des appareils mécaniques chargés de ventiler l'intérieur du navire, le service des pompes à incendie, celui des treuils, des cabestans et des grues de chargement, deviennent aussi prompts que faciles.

3° Les machines à haute pression, à détente et à mouvements rapides rendent-elles autant de travail utile que les anciens systèmes ? C'est un point sur lequel les expériences dynamométriques se sont chargées de dissiper les inquiétudes. Dans la frégate *l'Arrogant*, où le propulseur reçoit directement 70 tours, le travail réel réalise plus des 0.70 de la puissance théorique, bien que les dispositions de l'appareil ne soient pas irréprochables.

Les locomotives du chemin de Strasbourg, avec des cylindres de 0^m.38 et des roues de 1^m.68, traînent aisément au moins 16 wagons chargés, à la vitesse de 11 mètres par seconde, avec une consommation de coke de 6 kil. au plus, soit à peu près 160 tonnes à remor-

quer, y compris le tender et la machine. Estimant à 8^k l'effort de traction par tonne (chiffre emprunté à un récent mémoire de M. Poirée, et plus que suffisant pour la ligne de Strasbourg, où la voie est généralement excellente), on a pour mesure du travail développé

$$T = 160^k \times 8^k \times 11^m = 14080^k$$

ou

$$\frac{14080}{75} = 190 \text{ chevaux.}$$

Les évaluations de M. Poirée contenues dans son mémoire (1) sont plus frappantes encore. Le travail développé, estimé au dynamomètre, s'est élevé pour une machine à voyageur du chemin de Lyon jusqu'à 294 chevaux.

Or, qu'est-ce que ces locomotives, sinon des machines à vapeur à mouvement rapide, dont le système est analogue à celui de beaucoup de bateaux à vapeur ? Eh bien ! voici par force de cheval les proportions comparées de la locomotive de Lyon et d'une machine marine de force à peu près égale, à basse pression et à système oscillant.

DÉSIGNATION	Locomotive	Marine
Force en chevaux.	294ch	312ch
Surface du piston par cheval.	9cq	132cq
Surface de chauffe par cheval.	0mq.29	1mq.62
Poids.	124 ^k	1,935 ^k
Consommation de combustible par heure.	2 ^k .05	3 ^k .27
Consommation d'eau par heure.	14.16	»
Espace occupé par cheval.	0mq.109	0mq.260
Prix par cheval.	227f	1 061f

Ainsi les locomotives, malgré les pertes de travail qui leur sont in-

(1) *Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, 5^e année, 4^e cahier, page 344.

hérentes et leur vitesse de rotation, dont les machines marines demandent à peine la moitié, produisent cependant, avec 9^{d.} au piston et quelques décimètres de surface chauffée, et 2 kil. de coke brûlé, dans de médiocres conditions, une somme de travail que ne rendent pas, même sur les rivières tranquilles, les appareils de navigation à mouvements amples et lents, avec des surfaces, des poids et des consommations considérablement supérieurs.

4° La plus sérieuse objection faite aux machines rapides est la violence des secousses qu'on a signalée dans la plupart des navires qui ont essayé ce système. Mais nous avons expliqué ces secousses et démontré que les actions perturbatrices qui les provoquent ont leurs remèdes dans des procédés connus même dans la navigation.

Les objections qui viennent d'être examinées ont long-temps empêché le développement des machines fixes à mouvements rapides dans les manufactures. On les accepte aujourd'hui pour les plus grandes comme pour les plus petites forces. La machine de 400 chevaux des laminoirs d'Aubin que M. Cail construit en ce moment, et celle de 200^{ch} que construit aussi M. Farcot, en sont un exemple.

N'est-il pas singulier que la navigation, où leur emploi est plus nécessaire que partout ailleurs, soit maintenant presque la seule industrie qui répugne à l'accepter ? (1)

V. CONCLUSION.

Les deux mémoires qui précèdent se résument par les conclusions suivantes :

(1) Au moment où ce mémoire, déposé dès novembre dernier, est sous presse, nous apprenons que l'administration de la marine française vient d'autoriser, sur une corvette à hélice, l'essai d'une machine à très haute pression sans condensation et à mouvement rapide munie d'un générateur de M. Belleville. Dans la navigation fluviale, trois bateaux à vapeur atteignent des vitesses inconnues jusqu'ici. Ce sont : *l'Avant-Garde* de la Saône, *le Neptune* de la Seine, et les steamers omnibus de Penn sur la Tamise. Or, ces bâtiments réalisent en partie les vœux qui viennent d'être exprimés. Les deux premiers fonctionnent à haute pression et à condensation, et le dernier à moyenne pression ; *l'Avant-Garde* et les bateaux de Penn ont une rotation de roue assez rapide.

1° Il est inexact, même théoriquement, que la longueur des coques soit sans influence sur la résistance à la marche. Un excès de longueur a pour autre effet nuisible de détruire la solidité et la rigidité de la coque, de favoriser sa tendance à verser, à secouer, et cette instabilité qui se traduit en mouvements de bascule, de tangage et de roulis. La plus grande longueur dépourvue d'inconvénient paraît être :

12 à 15 fois la largeur pour les rivières.

8 à 10 fois pour la mer.

2° La forme et la dimension des façons extrêmes ne saurait être l'objet d'aucun principe arrêté, en ce moment où les systèmes nouveaux s'accroissent; mais après avoir comparé les formes usitées, il semble qu'un léger évidement des façons-avant, conformément au type du Creusot, paraît mieux que tout autre se prêter à la division du flot sous l'action de la proue.

3° Parmi les diverses solutions du problème qui a pour but la réduction des appareils moteurs et propulseurs à des poids et des volumes moindres, un seul paraît admissible. Il se résume en ces mots : Augmenter la pression et la vitesse des machines, ne pas alléger la coque ou les bâtis aux dépens de la rigidité, et accroître plutôt que diminuer les surfaces de chauffe et de grille dans les chaudières.

4° Afin de conserver à la machine la liberté d'allure qui convient aux propulseurs, faciliter les manœuvres et le jeu des pompes à air, il conviendrait de les mouvoir par une machine auxiliaire distincte pouvant au besoin embrayer avec l'arbre du propulseur, et pourvue de sa chaudière distincte à haute pression.

5° Outre l'excès de longueur et le défaut de rigidité des coques, deux causes inhérentes à la machine produisent ces secousses aussi nuisibles à la conservation du navire que pénibles pour les passagers :

1° On les assooit mal, sur des bases et des bâtis insuffisants.

2° On laisse aux actions perturbatrices de la pesanteur, de la force centrifuge, de l'inertie et de la variation de pression, toute leur liberté de se développer.

Pour détruire ces secousses , j'ai proposé :

1° D'installer la machine plus solidement et plus solidairement avec la coque, suivant le type de Penn ;

2° D'équilibrer avec plus de soin les organes les uns par les autres ;

3° D'annuler les actions perturbatrices de l'inertie et de la force centrifuge par des contre-poids conformes à la théorie de M. Le Chatelier ;

4° De combattre les variations de pression résultant des grandes déteintes par l'accouplement de plusieurs cylindres correspondants à des manivelles distinctes, conformément au type de M. Mazeline ; et réserver les machines uniques non pourvues de volants pour les cas où la détente est peu prolongée, et les actions perturbatrices horizontales et verticales compensées avec un soin particulier.

MÉMOIRE N° XXXVI.

Considérations générales sur les ressorts employés dans les véhicules des chemins de fer,

PAR M. BOURNIQUE.

M. Phillips, ingénieur des mines, a publié, il y a deux ans environ, une théorie complète pour le calcul des ressorts en acier; j'ai eu l'avantage de suivre pas à pas ce travail, d'expérimenter une à une toutes les formules que contient son mémoire, et, je dois le dire, j'ai été surpris de voir avec quelle précision tous les résultats déterminés par le calcul sont confirmés dans la pratique.

Mon but n'est pas de discuter les formules de M. Phillips, toutes prouvées, comme je l'ai dit déjà, par de nombreuses expériences, mais de déduire, ou plutôt de faire ressortir de sa théorie, les principes généraux, fondamentaux, qui dominent dans un ressort, et de rechercher alors suivant quelles conditions on doit l'établir.

I. — Un ressort ne comprend que deux éléments : sa flexibilité et sa résistance. La *flexibilité* est la diminution de flèche sous une charge donnée; la *résistance* est le poids que le ressort peut supporter sans que l'élasticité de l'acier soit altérée, c'est-à-dire sans qu'il y ait de pertes permanentes de flèche.

La limite d'élasticité de l'acier est mesurée par l'allongement qu'éprouvent les lames du ressort : *c'est donc l'allongement que l'on peut faire subir à l'acier, sans que son élasticité soit altérée, qui limite la résistance du ressort.* Ainsi, dire qu'un ressort a une résistance absolue de 4,000 kil., cela revient à dire que sous ce poids l'acier travaille à son allongement maximum.

Comme l'allongement proportionnel est la clef de toute la théorie des ressorts, je crois devoir en donner ici la définition.

Soit CD (fig. 1, pl. 34) une barre d'acier d'une épaisseur a et d'une longueur de 6^m.28 : si l'on cintre cette barre sur un rayon de 1^m.00, les deux arêtes extrêmes de la feuille auront changé de lon-

gueur , celle qui est extérieure se sera allongée , celle qui est intérieure se sera raccourcie , et la ligne milieu n'aura pas varié de longueur . Si l'épaisseur a est de 10 millimètres , par exemple , la circonférence extérieure sera alors $6^m.3114$, et la circonférence intérieure $6^m.2486$, c'est-à-dire que les arêtes extrêmes de la feuille se seront allongées ou raccourcies de $0^m.0314$, et ce chiffre , divisé par $6^m.28$, longueur primitive de la barre , donnera l'allongement proportionnel qu'elle aura subi en la cintrant sur un rayon de $1^m.00$, c'est-à-dire $0^m.005$.

D'après cet exemple , on comprend , *a priori* , que , si l'on conserve à la feuille CD son épaisseur , et qu'on la cintré sur des rayons différents , les allongements qu'elle éprouvera seront différents : d'où la relation connue pour la résistance des matériaux

$$e = 2rx.$$

J'ai dit en commençant que dans un ressort il n'y a que deux effets à considérer : la flexibilité et la résistance . La théorie démontre que : 1° *La flexion d'un ressort est proportionnelle à la charge ;* c'est-à-dire que , si sous 1000 kil . , par exemple , la diminution de flèche est de $0^m.02$, sous 5,000 kil . elle sera de $5 \times 0.02 = 0.100$.

2° *Les allongements qu'éprouvent les feuilles d'un ressort sont également proportionnels à la charge* , c'est-à-dire que , si sous 1,000 kil . l'allongement est de 0.001 , sous 5,000 kil . il sera de 0.005 .

3° *Le poids ou le volume d'un ressort varie proportionnellement à sa flexibilité et au carré de sa résistance* , résistance , je le répète à dessein , qui est toujours mesurée par l'allongement produit .

Voilà les trois lois qui dominent toute la théorie des ressorts ; il en résulte qu'avec le même acier il n'y a pas de ressorts , répondant aux mêmes conditions , qui soient plus ou moins légers ; il y a des ressorts ayant plus ou moins de flexibilité , ou éprouvant plus ou moins d'allongement sous la même charge . Ainsi , lorsqu'on s'est donné la flexibilité et l'allongement répondant à une charge déterminée , il n'y a , comme poids , qu'un ressort , un seul , qui réponde

à ces conditions. Donc toute la question est de savoir quelle flexibilité minima et quel allongement maximum on doit donner dans les différentes applications des ressorts. C'est ce que je vais examiner ; mais avant je crois nécessaire de dire quelques mots sur les étagements et sur les nouveaux types de ressort appelés à *auxiliaire*.

II. — Pour qu'un ressort soit rationnellement établi, il faut évidemment que l'acier travaille dans toutes ses parties au même allongement, allongement qui est toujours supposé maximum, puisque le poids du ressort varie proportionnellement au carré de cet allongement. La théorie démontre que, pour que cette condition soit remplie, il faut que tous les étagements soient égaux entre eux. Cependant, dans la pratique, on a une tendance très prononcée à augmenter la longueur des feuilles, et surtout à accompagner la maîtresse feuille presque jusqu'à son extrémité (fig. 2), et il n'y a même, jusqu'à présent, que les ressorts commandés par M. Phillips pour le chemin de l'Ouest qui soient étagés théoriquement.

Quelques raisons ont été données pour expliquer cet allongement des feuilles ou diminution d'étagement, mais elles sont tout-à-fait spécieuses, car l'expérience prouve, *du moins quand les ressorts reposent directement sur de simples contacts* (fig. 4), que la maîtresse feuille ne casse pas à la naissance du premier étagement (fig. 3). La seule raison plausible à donner pour accompagner la maîtresse feuille sur presque toute sa longueur, c'est que dans un ressort, on le comprend facilement, il y a toujours intérêt à ce que ce ne soit pas cette feuille qui casse. Mais, quand tous les étagements sont égaux, cette première feuille tend-elle à casser davantage ? C'est ce que je ne crois pas, et je puis citer, à l'appui de cette opinion, ce fait que tous les ressorts faits depuis 1850 pour le chemin de l'Ouest (environ 2,000) sont étagés théoriquement, et que pas une seule maîtresse feuille n'a cassé. Seulement je restreins cette assertion aux ressorts reposant directement sur de simples contacts, car, au même chemin de fer, sur 40 ressorts environ terminés à rouleaux et montés avec des menottes (fig. 5), il y a eu plusieurs ressorts de

cassés après peu de temps de service, et presque tous à la naissance du premier étage. C'est que dans ce cas il se produit sur l'extrémité de la maîtresse feuille une série d'efforts très difficiles à déterminer et qui agissent tout-à fait en dehors de la pression verticale due au poids du véhicule. Et la preuve que la casse de la maîtresse feuille à la naissance du premier étage doit être attribuée à la cause que je citais ci-dessus, c'est que les menottes qui tiraient les ressorts sous un angle approximatif de 45° ont été mises verticales, et, depuis, un seul des mêmes ressorts a cassé; une autre preuve encore, c'est que, sur 600 ressorts de traction terminés aussi à rouleaux, mais où l'effort se transmet perpendiculairement à la corde du ressort, pas un seul n'a cassé à la naissance du premier étage.

Ces faits prouvent qu'au point de vue des ressorts, il y aurait intérêt à les monter dans les châssis, toujours sur de simples contacts (fig. 4). Ceci m'amène naturellement à examiner les différents modes d'attache des ressorts aux châssis.

Tous les modes d'attache peuvent se réduire à trois :

1° La maîtresse feuille terminée à plat un peu refoulée, et reposant tout naturellement sur les châssis (fig. 4).

2° La maîtresse feuille terminée à rouleaux et reliée au châssis par l'intermédiaire de menottes et de supports en fer fixes (fig. 5).

3° La maîtresse feuille terminée à rouleaux, ou plus généralement à mains, et reliée au châssis par l'intermédiaire de mains mobiles dans un support fixé au châssis de manière à pouvoir donner au ressort des tensions variables, ou ce qu'on appelle très improprement régler le ressort (fig. 6).

Il est reconnu par tout le monde que moins l'acier est travaillé et moins il est chauffé, moins aussi il a de chance de perdre sa qualité ou de se dénaturer : pour refouler les extrémités des maîtresses feuilles, on n'a besoin que de les chauffer très peu et peu souvent ; pour les terminer à rouleaux, il faut les chauffer plus fort et plus souvent ; enfin, pour les terminer à mains, il faut une soudure de l'acier avec le fer, et, par conséquent, il faut chauffer l'acier à son maximum et

donner plusieurs chaudes. En outre, le fer n'a pas à beaucoup près la résistance de l'acier. Dans ces deux derniers cas, et surtout pour le dernier, il y a, par conséquent, bien plus de raison pour que l'acier soit aigre et même dénaturé. Ainsi, au point de vue de la bonté du ressort, le premier mode d'attache (fig. 4) est bien préférable aux deux autres.

La suspension avec mains, permettant de tendre à volonté le ressort, coûte, par châssis à quatre roues, 250 fr. de plus que la suspension à simple contact, et entre celle-ci et la suspension à rouleaux avec supports et menottes fixes (fig. 5), il y a 150 fr. de différence, toujours en faveur du simple contact.

Par conséquent, au point de vue de l'économie, le premier mode d'attache des ressorts au châssis est encore préférable à tous les autres. Aussi je m'explique difficilement pourquoi les deux autres systèmes de suspension sont généralement préférés.

En effet, en réglant un ressort, comme on dit, on ne fait que le mettre sous une tension permanente plus forte, et c'est un résultat fâcheux; ou encore, si l'on tend à nouveau un ressort avachi, on ne lui rend aucune élasticité, au contraire, puisque, comme je l'ai dit, on ne fait que le soumettre à un allongement permanent plus fort, ce qui tend ainsi à le fatiguer plus vite.

Je considère donc cette complication de mains mobiles comme une dépense tout-à-fait inutile.

Reste le deuxième mode d'attache, qui agit sur le ressort de la même manière que dans le système précédent; mais on ne lui donne qu'une tension initiale et fixe, quand il est monté. Cette tension n'a aucun effet, puisqu'elle est généralement dépassée par le poids du véhicule vide. Les raisons qui me semblent venir à l'appui de ce système sont que, le ressort étant fixé solidement au châssis et à la boîte à graisse, le moindre mouvement du châssis entraîne de suite la roue, sans l'intermédiaire de la plaque de garde, de sorte que la traction s'opère et par les ressorts de suspension, et par la plaque de garde; dans les variations de vitesse ou dans les oscillations d'un wagon en

marche, il n'y a jamais ou très peu de chocs de la boîte à graisse contre la plaque de garde, ce qui doit arriver, au contraire, quand le ressort est monté sur de simples glissoires, car alors le châssis peut avoir à la rigueur un mouvement égal au jeu longitudinal existant entre la boîte à graisse et la plaque de garde, sans commencer à entraîner la roue. Mais je crois qu'il n'est pas nécessaire, je pense même qu'il est nuisible, que ce soit le ressort qui entraîne la roue; il faut mieux que ce soit la plaque de garde, appuyant sur la boîte à graisse. De plus, il est douteux que cet effet de glissement du châssis sur le ressort monté en glissière ait lieu, car l'adhérence entre les extrémités du ressort et ses contacts est suffisante pour empêcher ce glissement. D'ailleurs, en supprimant le jeu longitudinal dans la boîte à graisse, on évitera tout glissement.

Voici quelques faits d'expériences qui viennent à l'appui de ce qui vient d'être dit :

Au chemin de l'Ouest, tous les ressorts des wagons neufs exécutés depuis 1850 (environ 300 wagons et 80 voitures à voyageurs de 1^{re}, de 2^e et de 3^e classe, sans en compter 500 autres actuellement en construction) sont montés sur de simples sabots en fonte, et l'on n'a remarqué aucun glissement, aucun inconvénient d'un autre genre; dans les voitures à voyageurs, on n'a rien signalé de mauvais, et j'ai fait moi-même plusieurs voyages dans des trains à la vitesse ordinaire de 32 à 45 kilomètres à l'heure, en me tenant successivement dans une voiture montée avec mains et dans une autre munie de simples contacts, et je n'ai pas constaté la moindre différence. Il reste à expérimenter ce système pour des trains de grande vitesse; mais aucune raison ne peut s'opposer à ce qu'il réussisse comme dans les autres cas.

Je pense donc que tous les ressorts de suspension devraient être montés d'après le premier mode dont j'ai parlé, et, d'après les faits cités précédemment, l'étagement théorique pourrait être rigoureusement suivi, de sorte que les ressorts seraient le plus légers possible.

Examinons maintenant l'étagement des ressorts de locomotives dont

la maîtresse feuille est percée pour recevoir les boulons d'attache.

Jusqu'ici on a mis à ces ressorts un très grand nombre de feuilles d'une longueur égale à la première, puis on a fait partir l'étagement comme s'il n'y avait qu'une maîtresse feuille (fig. 7); c'est évidemment une erreur : car, dès que le nombre de feuilles que l'on a ajouté est suffisant pour que l'allongement que la maîtresse feuille éprouve à l'endroit où elle est percée ne soit pas plus grand que si elle ne l'était pas, il n'y a plus de raison pour venir la faire soutenir encore par les autres feuilles; et ainsi, logiquement, s'il faut, par exemple, 2 feuilles pour remplir cette condition, la troisième feuille ne devra commencer qu'au bout du deuxième étage-ment (fig. 8, pi. 34), comme si la feuille n'était pas percée, et que ce fût un ressort ordinaire.

Cependant, parmi des ressorts établis ainsi, et qui avaient généralement deux premières feuilles de même longueur, quelques maîtresses feuilles se sont cassées à la naissance N de la troisième feuille; mais ce fait ne prouve rien contre la théorie, car il doit être attribué à ce que l'acier des extrémités de ces maîtresses feuilles est plus ou moins altéré par les chaudes assez nombreuses que l'on est forcé de donner pour souder les mamelons en fer sur lesquels viennent osciller les rondelles sur lesquels s'appuient les écrous.

Aussi, comme pour les ressorts terminés à rouleaux ou à mains, je pense que la troisième feuille devrait être allongée un peu plus loin qu'elle ne doit l'être théoriquement; et, par suite, les autres étage-ments, égaux du reste entre eux, devraient être augmentés proportionnellement au nombre de feuilles, de manière à ce que la dernière eût la longueur théorique. Cette manière d'étager le ressort a l'avantage, en outre, de lui conserver une forme agréable à l'œil, ce qui n'a pas lieu quand l'étagement est tout-à-fait théorique.

III.— L'épaisseur des feuilles, en supposant la flexibilité et l'allongement constants, dépendant du rayon, on peut, en faisant varier ce rayon, faire des ressorts à feuilles d'inégales épaisseurs; si l'on fait diminuer successivement les rayons, on arrive à un ressort à feuilles

d'épaisseurs décroissantes, et alors toutes les feuilles, une fois le ressort monté, ont une bande initiale plus ou moins forte; si, au contraire, on augmente successivement le rayon, on obtient un ressort à feuilles d'épaisseurs croissantes, et les feuilles, au lieu d'avoir une bande initiale une fois le ressort monté, ne sont en contact que sous une charge plus ou moins grande.

C'est sur ce dernier principe qu'est basé *l'auxiliaire*, dont le rayon est déterminé de manière que les feuilles précédentes ne commencent à être en contact avec lui qu'une fois la charge normale dépassée (fig. 9, pl. 34). Dans les ressorts à feuilles d'épaisseur croissante, la flexibilité n'est exactement proportionnelle à la charge que quand toutes les feuilles sont en contact; par conséquent, dans le ressort à auxiliaire, une fois que les feuilles du ressort proprement dit commencent à être en contact avec l'auxiliaire, la flexibilité va en décroissant, jusqu'au contact complet de l'auxiliaire sur toute sa longueur avec les autres feuilles. Or, le poids d'un ressort variant proportionnellement à la flexibilité, le ressort à auxiliaire, qui répond à la même résistance qu'un ressort à feuilles d'égale épaisseur, devra être plus léger, et, par suite, moins coûteux.

La première partie du ressort étant calculée de manière à n'être en contact avec l'auxiliaire que quand la charge normale est dépassée, et comme c'est à partir de cette charge que la flexibilité commence à diminuer, il reste à examiner si ce fait n'est pas nuisible à la suspension du véhicule.

Dans un train en marche, la charge normale n'est dépassée accidentellement que par les inégalités de la voie, qui sont généralement peu sensibles. Les oscillations produites ne peuvent donc pas varier beaucoup, et, comme les extrémités des ressorts fléchissent beaucoup plus que le milieu (c'est l'effet d'un arc de cercle que l'on développe), la flexibilité du ressort ne doit pas changer sensiblement. Ce fait se vérifie au chemin de fer de l'Ouest, où toutes les nouvelles voitures à voyageurs ont des ressorts à auxiliaire ayant la même flexibilité, sous la charge normale, que les anciens ressorts à feuille d'é-

gale épaisseur, et où on ne ressent pas le moindre choc pendant la marche de ces voitures.

Les ressorts à auxiliaire ont donc sur les ressorts à feuilles d'égale épaisseur cet avantage que, tout en étant aussi doux et l'acier ne travaillant pas plus, ils ont un poids moindre. C'est, comme ressorts de suspension, leur seul avantage sur les ressorts ordinaires.

Comme ressorts de traction, il en est un autre : car, une fois l'effort normal de traction dépassé, ce qui arrive dans les pentes plus ou moins fortes, ils n'ont plus une flexibilité proportionnelle à l'effort exercé, et diminuent ainsi la course des crochets de traction, c'est-à-dire qu'ils allongent moins le train, ce qui est toujours avantageux. L'auxiliaire trouve surtout son application dans les ressorts de choc et de traction pour voiture à voyageurs : car ils doivent être très flexibles pour le choc, et, par conséquent, avoir des courses très grandes pour des efforts de traction assez faibles.

La différence de poids entre un ressort à auxiliaires et un ressort à feuille d'égale épaisseur est assez sensible ; en voici un exemple :

Ressort de suspension à auxiliaire pour wagons à marchandises
12 tonnes.

8 feuilles de 12 millimètres, acier.	32 ^k .
Auxiliaire en fer.	6.
	38 ^k .

Ressort correspondant à feuilles d'égale épaisseur.

14 feuilles de 10 millimètres	42 ^k .
---	-------------------

Comme le fer est moins cher que l'acier, il y a un avantage très marqué à employer ces ressorts.

IV.— Le travail d'un ressort de choc étant exprimé par $T = \frac{Eva^2}{6}$, c'est-à-dire étant proportionnel à son volume v , en supposant l'allongement constant, quand on a un ressort de choc à établir, il faut donc se donner le volume.

L'effet utile d'un ressort de choc dépendant entièrement de son

poids, plus il sera lourd, plus il absorbera de travail. En fait de ressorts de choc, il n'y a donc pas non plus, à plus forte raison, de ressorts plus ou moins légers; il y a des ressorts amortissant tel ou tel choc.

Une fois le volume déterminé par le choc que l'on veut amortir, il ne s'agit plus que de se donner la flexibilité convenable, qui dépend entièrement des circonstances dans lesquelles le ressort doit agir. Ainsi, pour les ressorts de choc de voitures à voyageurs, la flexibilité doit être très grande, afin d'éviter les secousses sensibles pour les voyageurs. Pour les wagons à marchandises, au contraire, la flexibilité devra être moindre, parcequ'il suffit que les secousses ne soient pas assez violentes pour disloquer la charpente des véhicules. La résistance sera alors très grande; mais, dans les deux cas, l'effet utile du ressort pourra être le même.

V. — Nous avons vu 1° que les éléments dont se compose un ressort sont la flexibilité et la résistance; 2° que le poids d'un ressort varie proportionnellement à sa flexibilité et au carré de sa résistance, résistance toujours mesurée par l'allongement produit. Il y a donc intérêt, lorsqu'on a un ressort à établir, à lui donner le moins de flexibilité possible, et, au contraire, à faire subir à l'acier, sous la charge normale du ressort, le plus grand allongement possible.

Dans les chemins de fer, les véhicules suspendus sont de trois sortes :

- 1° Les voitures à voyageurs;
- 2° Les wagons à marchandises;
- 3° Les machines.

1° Pour les voitures à voyageurs, la flexibilité des ressorts doit être suffisante pour que les chocs produits ne soient pas sensibles pour les voyageurs; l'expérience prouve qu'avec une flexibilité variant de 0^m.080 à 0^m.110, ce but est atteint. Il est évident que ces chiffres sont tout-à-fait volontaires, et que plus on donnera de flexibilité au ressort, plus la suspension sera douce; il n'y a d'autres limites que

l'agencement du ressort sous le véhicule, et le poids du ressort, qui deviendrait très grand.

2° Dans les wagons à marchandises, les ressorts de suspension ont pour but d'éviter la dislocation de la charpente des wagons et la détérioration trop prompte de la voie sous des chocs réitérés produits par des poids très lourds. La flexibilité à donner à ces ressorts est assez difficile à déterminer, car il est presque impossible, à moins de longues expériences, de savoir si, avec une flexibilité donnée, les chocs sont suffisamment amortis pour que la voie et la charpente des wagons soient suffisamment ménagées : aussi les chiffres que je vais donner comme flexibilité de ces ressorts ne sont-ils que la moyenne des flexibilités données dans les différents chemins de fer en exploitation. Jusqu'à ces derniers temps, cette flexibilité a varié entre 0^m.020 et 0^m.027 par 1,000 kil. Aujourd'hui que la tendance générale est de faire des wagons chargés de poids très lourds, on a diminué et l'on diminue tous les jours cette flexibilité, qui est réduite maintenant, pour les wagons de 10 à 12 tonnes, entre 0^m.010 et 0^m.016. Ce fait s'explique par le désir de diminuer l'épaisseur et le poids des ressorts, qui, sous ces charges, seraient très grands ; mais c'est, je crois, une erreur : car, plus les charges sont fortes, plus les chocs produits sont violents ; par conséquent, ils auraient besoin d'être amortis efficacement. C'est donc pour ces wagons chargés de si forts poids qu'on aurait dû augmenter la flexibilité des ressorts, au lieu de la diminuer.

Avec les flexibilités de 0^m.012 ou 0^m.015 et des charges de 12 tonnes, un convoi est pour ainsi dire composé d'autant de locomotion qu'il y a de wagons, et la voie doit se détériorer d'une manière bien plus prompte. On ne devrait donc jamais donner à ces ressorts une flexibilité moindre de 0^m.020, et, pour avoir des épaisseurs totales de ressorts moindres, on n'a qu'à augmenter la distance des points de contact, ce qu'il est toujours possible de faire.

3° La flexibilité des ressorts des machines varie entre 0^m.010 et 0^m.015 ; elle est plus généralement de 0^m.008 à 0^m.012. Pour ces res-

sorts, on comprend que la flexibilité soit ainsi limitée, parce que les oscillations doivent être restreintes à cause du mécanisme, qui est fixé en partie sur les essieux, qui sont fixes, et sur les longerons ou la chaudière, qui est mobile, avec les ressorts. On ne peut donc pas augmenter de beaucoup cette flexibilité. Cependant, comme la charge normale dans les machines ne varie pas sensiblement, je crois que les oscillations produites par des ressorts ayant des flexibilités de $0^m.012$ à $0^m.015$ ne sont pas assez grandes pour être nuisibles à la marche du mécanisme; on pourrait donc regarder $0^m.012$ comme la flexibilité minima, et $0^m.015$ comme la flexibilité maxima.

L'acier, sans perdre de son élasticité, peut subir, sous des efforts momentanés, des allongements bien plus grands que sous des charges permanentes; aussi un ressort est-il toujours déterminé de telle sorte que l'allongement qu'éprouvent les feuilles sous la charge normale est bien moindre que celui qu'on lui fait subir à l'essai.

La charge d'essai d'un ressort correspond à l'allongement maximum que l'on peut faire subir à l'acier sous une charge momentanée; cet allongement ne peut être déterminé que par l'expérience. J'ai fait avec M. Phillips ces expériences sur différentes épaisseurs de feuilles en acier fondu, et nous avons trouvé que l'allongement proportionnel maximum pouvait aller jusqu'à $0^m.005$, c'est-à-dire qu'à cet allongement la feuille reprenait encore sa forme primitive. Nous avons poussé pour quelques feuilles l'allongement jusqu'à $0^m.006$; mais, pour la grande majorité, ces feuilles ne reprenaient pas leurs flèches primitives.

Avec la nature des aciers actuels employés à la fabrication des ressorts, je crois donc que le chiffre $0^m.005$ est l'allongement maximum que peut subir l'acier sous des charges momentanées.

L'allongement à donner à un ressort sous la charge normale était plus difficile ou au moins plus long à déterminer. Nous avons mis pendant quelques mois un certain nombre de feuilles sous des pressions correspondantes à des allongements de 0.002 , 0.0022 , 0.0025 , 0.003 ; M. Phillips, pour tous les ressorts établis pour le chemin de

fer de l'Ouest, les a calculés, $\frac{4}{5}$ avec des allongements de 0.0022 sous la charge normale, et l'autre $\frac{1}{5}$ sous des allongements de 0.0025. Quelques uns, avec ces allongements (6 sur 200), ont cassé, tandis que, sur mille ressorts avec 0.0022 d'allongement sous la charge normale, et mis en service successivement depuis 1849, pas un seul n'a cassé. Tous ces ressorts reposent sur des contacts en fonte.

Ces expériences tendent donc à prouver que, sous la charge normale, l'allongement maximum que l'on doit prendre, du moins pour les ressorts de wagons à marchandises, est ce dernier chiffre 0.0022. Il serait cependant d'un grand intérêt pour les chemins de fer d'essayer quelques ressorts travaillant sous la charge normale à des allongements de 0.0025.

La théorie démontre que, plus un ressort est raide, plus les allongements produits par les oscillations résultant des mêmes chutes sont forts, c'est-à-dire que, si 3 ressorts, l'un de voitures à voyageurs, l'autre de wagons à marchandises, et le dernier de locomotives, ont été déterminés avec le même allongement, 0.0022 par exemple, sous le même choc ou sous une chute du véhicule supposée égale l'allongement produit sera pour les ressorts des voitures à voyageurs environ de 0.0028, pour les ressorts des wagons à marchandises 0.0030, et pour les ressorts de locomotives 0.0033.

De ce fait il résulte qu'il faudrait, pour que ces 3 espèces de ressorts, mis en service, fussent en marche dans les mêmes conditions d'allongement, qu'ils fussent calculés sous des allongements différents. J'ai fait ce calcul, et j'ai trouvé, en partant de 0.0022 comme base, pour les ressorts de wagons à marchandises, que l'allongement pour les ressorts de locomotives devrait être de 0.0021, et pour les ressorts de voitures à voyageurs de 0.0025.

Ces trois chiffres sont ceux que je crois que l'on devrait adopter, c'est-à-dire :

0.0021 pour les locomotives ;

0.0022 pour les wagons à marchandises,

0.0025 pour les voitures à voyageurs.

Ainsi les flexibilités et les allongements que je crois les plus convenables seraient donc :

1° Pour les voitures à voyageurs , flexibilité 0^m.08 à 0^m.11 , allongement sous la charge normale 0.0025.

2° Pour les wagons à marchandises , flexibilité 0.0020 à 0.0025 , allongement 0.0022.

3° Pour les locomotives, flexibilité 0.012 à 0.015 , allongement 0.0021.

Un membre de la Société a fait remarquer, à une des séances précédentes, l'intérêt qu'il y aurait pour les chemins de fer à avoir les mêmes types de bandage ; cet intérêt est le même pour toutes les autres parties d'un matériel , et la tendance générale de tous les ingénieurs de chemins de fer devrait être, toutes les fois que sur une question les avis sont à peu près unanimes , de déterminer des types.

La question des ressorts est aujourd'hui dans ce dernier cas , et tous les ressorts , excepté ceux des machines où les charges sont très variables , suivant le système , pourraient se réduire aux sept types suivants :

1° 1 ^{re} et 2 ^e classe, flexibilité 0. 1 , all. sous charge normale 0.0025		
2° 3 ^e classe et mixte, » 0 08, » 0.0025		
3° Wag. 6 tonnes, » 0.025, » 0.0022		
4° Wag. 8 tonnes, » » » »		
5° Wag. 10 tonnes, » » » »		
6° Choc et traction pour voyageurs; poids 75 ^k ; flexibilité 0 ^m .090 ; résistance 3,500 ^k .		
7° Traction pour marchandises, flexibilité 0.015 ; résistance 5,000 ^k .		

On pourrait même, en choisissant les longueurs *ad hoc* pour les premières feuilles, arriver à faire tous ces ressorts en feuilles ayant la même épaisseur et la même largeur. C'est ce que nous avons pu faire dernièrement pour un matériel neuf où tous les types sont composés de feuilles de 0.010. Je n'ai pas besoin de faire ressortir les avantages de cette mesure. La construction des ressorts deviendrait alors une vraie fabrication, ce qui veut dire facilité de production, uni-

formité dans le travail, meilleur produit et diminution de prix.

Je crois pouvoir maintenant résumer ainsi les considérations qui précèdent :

Les conditions d'un ressort étant données, c'est-à-dire sa longueur, sa flexibilité et sa résistance correspondant à un allongement donné, j'ai cherché à établir qu'il n'y avait qu'un ressort, qu'un seul, qui pût répondre à ces conditions, qu'il ne pouvait être composé que de feuilles d'une épaisseur forcée, et qu'il ne pouvait être ni plus ou moins léger; par conséquent, la question des ressorts se réduirait aujourd'hui à ceci : pour les fabricants de ressorts, à améliorer sans cesse leur acier, afin qu'il puisse supporter des allongements de plus en plus grands; pour les ingénieurs de chemin de fer, à faire des essais sur les allongements maximum que l'on peut donner sous la charge normale. C'est par ces deux moyens seuls que l'on peut arriver à diminuer encore le poids des ressorts.

VI. — Il me reste à examiner le caoutchouc vulcanisé employé comme ressort, ou plutôt à le comparer avec l'acier.

Comme toute chose nouvelle, le caoutchouc n'a été employé pendant très long-temps que d'une manière très restreinte; aujourd'hui, au contraire, l'emploi de cette matière se généralise de plus en plus, et cependant elle est loin de donner pour le même prix le même effet utile que l'acier.

La propriété dominante du caoutchouc vulcanisé est qu'il peut subir des pressions très fortes sans que son élasticité soit altérée; mais les courses produites par ces pressions décroissent avec une telle rapidité, que l'effet utile est en réalité très faible: aussi, sans peut-être en connaître parfaitement la raison, a-t-on restreint l'emploi de cette matière aux seuls tampons de choc des wagons à marchandises, qui n'exigent comme amortissement de choc que très peu de travail. Il est peut-être encore une raison pour laquelle le caoutchouc est très peu employé comme traction et pas du tout comme suspension, c'est que, quand il est soumis à des efforts permanents, les rondelles se coupent, se divisent en plusieurs parties, et alors la détérioration

en est très prompte. Il faut remarquer aussi qu'une fois hors de service, il n'a plus de valeur, tandis que le vieil acier en conserve une très grande.

Mais, surtout, le caoutchouc employé comme ressort est loin de donner pour le même prix le même effet utile que l'acier.

J'ai comparé un tampon en caoutchouc à 4 rondelles à un petit ressort destiné à le remplacer et pesant 17 kil.

A la machine à essayer, le tampon en caoutchouc a donné les résultats suivants :

Charge	Course	Travail en kilogrammètres	Travail total
0	0.000		
500	0.001	7km.50	14km.875
1000	0.014	1.75	
1500	0.007	1.50	
2000	0.006	1.75	
2500	0.007	0.875	
3000	0.0035	0.75	
3500	0.003	0.75	
4000	0.003		
5500	0.003		

Remarquons que : 1° de 0 à 1,000 kil., la flexibilité est suffisante (de 0 à 500, s'il n'y a que 0^m.001 de course, c'est que le tampon a une bande initiale); 2° de 1,000 à 1,500 kil., il y a changement brusque de flexibilité; 3° le même effet a lieu de 2,500 à 3,000 kil., ou alors la flexibilité est très faible; 4° enfin, de 4,000 à 6,000 kil., elle est presque nulle et n'est plus d'aucun effet utile, quoiqu'il y ait encore développement de travail. En effet, que l'on suppose comme tampon de choc une barre d'acier très raide, qui, par exemple, sous 6,000 kil., perde de flèche 0^m.01, le travail développé sera bien de

30 kil. Mais on comprend facilement que ce travail sera développé en pure perte, c'est-à-dire que le wagon aura reçu une secousse à peu près aussi violente que s'il n'y avait pas eu de tampon de choc ; par conséquent, la résistance presque illimitée du caoutchouc devient à peu près inutile. Je n'ai donc compté le travail des tampons en caoutchouc à 4 rondelles que jusqu'à 4,000 kil., ce qui est déjà beaucoup, puisqu'à partir de 2,500 kil. la flexibilité n'est plus que de 0^m.003 pour 500 kil.

Le ressort que j'ai mis en parallèle a une flexibilité de 0^m.017 par 1,000 kil., et sa course est limitée à 4,000 kil. Le travail de ce ressort à fond de course est donc de $\frac{4.000 \times 0.017}{2} = 34^{\text{km}}$.

Les 4 rondelles en caoutchouc pesant 1^k.302, à 16^f.60 le kilog., font revenir le ressort en caoutchouc à 21^f.61 ; le ressort en acier pesant 1^k.17 kil., à 1^f.60, vaut 27^f.20 : donc il résulte de ce fait que, pour 1 fr. de caoutchouc, on a un effet utile de 6^{km}.708, tandis que, pour 1 fr. d'acier, l'effet utile est de 1^{km}.2, ou presque le double. Cependant cet avantage de l'acier sur le caoutchouc est diminué par le prix des appareils accessoires pour le montage des ressorts, montage qui est moins dispendieux pour le caoutchouc ; néanmoins il reste toujours un avantage sensible en faveur du ressort en acier, et même, au moyen d'une disposition nouvelle que je vais essayer prochainement, je suis parvenu à conserver entièrement cet avantage comme tampon de choc pour les wagons à marchandises.

Note sur l'emploi des rondelles en caoutchouc vulcanisé comme ressort de choc et de traction,

PAR M. HOVINE.

Plusieurs chemins de fer emploient comme ressorts des rondelles en caoutchouc vulcanisé, que l'on dispose de manière à les comprimer sous l'effort de la barre de traction ou de la tige de choc. Tantôt les disques élastiques sont enfermés dans une boîte en fonte fixée à l'extérieur du châssis, tantôt l'appareil est intérieur et affecte des formes variées dont l'appréciation doit rentrer dans l'étude du châssis lui-même. Ce qu'il faut, dans tous les cas, c'est une rondelle de nature à résister aux efforts énergiques et réitérés que le service impose, et mon but est de discuter ici quelques unes des conditions qui peuvent conduire à ce résultat.

Le chemin de Paris à Lyon, après un essai sur des rondelles venues, je pense, d'Angleterre, adopta un châssis à marchandises avec ressort de choc et ressort de traction en caoutchouc. Après avoir rebuté tout d'abord les appareils en fonte disposés à l'extérieur, comme donnant de trop faibles courses, on disposa le tout à l'intérieur. On mit sur chaque tige de choc 10 rondelles de 0^m.035 d'épaisseur et 0^m^q.0071 de surface, en les séparant par des disques en fonte; 4 rondelles semblables furent disposées sur la barre de traction.

La fonte se prêtait mal à un pareil emploi, la compression du caoutchouc ne se faisant pas aussi uniformément qu'on l'avait cru. Les disques, passés presque sans jeu sur les tiges, prirent des inclinaisons sensibles, ce qui amena leur rupture et le déchirement du caoutchouc avoisinant. Il fut facile d'aléser à nouveau les pièces existantes et de faire disparaître en partie cette cause d'insuccès. Pour les constructions neuves et pour l'entretien, on donna la préférence à une rondelle de séparation en tôle. Cette rondelle, qui a prévalu aujourd'hui pour tous les appareils de ce genre, n'est pas d'un prix bien élevé : on la découpe d'un seul coup de balan-

cier, et l'on coule à son centre et formant saillie sur les deux faces un anneau métallique dont le but principal est de maintenir le caoutchouc en dehors du contact des tiges. Par l'usage, elle s'emboutit d'une manière très sensible si la tôle est trop mince, et l'on trouve encore là un motif du peu de durée de la fonte appliquée à l'origine.

On dut s'en tenir à cette seule modification, mais il était déjà sensible que la rondelle élastique elle-même n'était pas parfaite. Ses dimensions, prises à peu près au hasard, et surtout l'esprit mercantile présidant à sa confection, donnaient chaque jour naissance à des produits plus secs et moins tenaces, d'une durée fort problématique. L'expérience l'a prouvé, ces rondelles, sous l'influence de compressions violentes et répétées, se déchirent et doivent être mises au rebut. J'en ai vu beaucoup, et j'ai trouvé une uniformité remarquable dans leur mode de dépérissement.

Deux déchirements annulaires *i* (fig. 10, pl. 34), situés dans des plans parallèles aux faces, apparaissent au pourtour de la rondelle, qu'ils partagent en trois parties sensiblement égales. Des expériences de compression faites sur des caoutchoucs isolés, et des observations nombreuses sur les appareils montés et découverts pendant la marche des trains, m'ont conduit à expliquer comme il suit l'arrachement annulaire :

Considérons (fig. 10) la rondelle *abcd*, et les disques *f*, *f'*, qui l'avoisinent. Au repos, le contact a lieu avec la tôle de *a* en *c* et de *b* en *d*, et le travail est nul aux points *i*.

Dès que la pression se fait sentir, il y a adhérence immédiate et invincible entre la tôle et le caoutchouc, sans aucun glissement possible, et pourtant, à mesure que la pression augmente (fig. 11), la surface de contact avec le disque grandit, les angles en *a*, *b*, *c*, *d*, tendant à disparaître, le bombement se prononce à la circonférence, et la tension s'accroît aux points *i* sans compromettre encore la solidité. Enfin, sous une compression extrême, il y a (fig. 12) redressement complet des angles primitifs en *a*, *b*, *c*, *d*, et en *i* des tensions assez grandes pour produire l'arrachement de la matière suivant la bissec-

trice de l'angle *aig*, ce qui explique pourquoi, lorsque la rondelle est revenue au repos, la section se trouve perpendiculaire à *a*, *b* (1). Ainsi, tandis que les deux faces du caoutchouc primitivement en contact avec le disque sont forcément immobiles, la partie intermédiaire se trouve refoulée vers le centre et surtout vers l'extérieur : de là des déformations d'autant plus anormales que l'épaisseur est plus grande, et je pense qu'on régulariserait cette déformation en augmentant le nombre des disques. On y trouverait cet avantage que, la profondeur de la section étant en général de $1/3$ de l'épaisseur, soit $iv = ai$ (fig. 10), ce serait un moyen de limiter la déchirure à la partie superficielle. On peut aussi admettre d'après l'inspection de la figure, et vérifier par expérience, que la distance des deux sections circulaires donne l'épaisseur de la rondelle dans sa compression extrême, et que cette épaisseur se trouve être $1/3$ de l'épaisseur primitive. Ce premier déchirement opéré, la rondelle, immobilisée au plan de contact des disques et refoulée en sens contraire, achève de se rompre suivant une ligne de plus grande tension *ivi*, et l'on arrive à un dédoublement qui offre l'aspect curieux de deux rondelles concentriques, dont l'une forme poulie recevant l'autre dans sa gorge (fig. 13). Ce caractère est plus ou moins prononcé, suivant la durée du service, mais la tendance est évidente. Passé ce terme, l'équilibre est détruit, et la rondelle se mâche de plus en plus jusqu'au moment où elle tombe en poussière.

Il n'est pas dans la nature du caoutchouc de se laisser piler de la sorte ; la cause de cet accident disparaîtra avec une préparation bien entendue. Quant à l'épaisseur de la rondelle, j'estime qu'elle devra rester au dessous de 0^m.02.

Je crois prudent, dans tous les cas, de ne pas soumettre le caoutchouc à des pressions exagérées. Nous avons vu l'arrachement se pro-

(1) Cette ligne de rupture n'est pas droite, mais courbe, les efforts se modifiant de chaque côté à mesure que la rupture s'opère. Quand la rondelle a repris sa position, les sections ne se trouvent pas perpendiculaires à la surface, comme il a été dit, mais bien obliques et plus rapprochées à l'extérieur qu'à l'intérieur.

duire pour des réductions à $1/3$ de l'épaisseur primitive, ce qui représente pour nous un effort de 5,200^k. Cet effet destructeur est surtout sensible dans la traction du châssis du chemin de Lyon, où rien ne limite la course, et où cette course elle-même est faible. Il faudrait donner aux rondelles de traction une surface de 0^m.0120, admettre dans le calcul une réduction de moitié dans l'épaisseur, correspondant à une course de 0^m.120, et limiter la course, si l'on s'y décidait, de façon à ne pas réduire en pratique à plus de $2/5$.

Pour le choc, les avaries se sont bornées à celles causées par la rupture des disques en fonte : les dix rondelles de 0^m.035 donnent une course limitée par le tampon à 0^m.180, l'écrasement n'est donc que $1/2$ de l'épaisseur première. Il est, je pense, bien admis que, dans les conditions ordinaires, le choc fatigue moins que la traction ; aussi je considère comme très suffisante la surface de 0^m.0071 des rondelles, et comme très susceptible de réduction la course de 0^m.180.

Les données précédentes, que la prudence recommande, deviendront moins restrictives le jour où la rondelle aura les qualités dont jouit le caoutchouc lui-même. On a trop oublié que le but de la vulcanisation est de rendre constante l'élasticité de cette matière dans les limites de nos températures, et qu'il ne s'agit pas ici de vendre du soufre à 16 fr. le kilog., mais d'en mettre le moins possible pour produire l'effet voulu.

Si mes informations sont exactes, la sulfuration des rondelles s'opère mécaniquement. Une lacération violente produit l'échauffement et le ramollissement du caoutchouc, ainsi que son mélange avec le soufre en poudre. Cette pâte est mise sous forme de cylindre creux, que l'on découpe ensuite en rondelles. Il y a là deux points délicats : l'échauffement du caoutchouc, qui, poussé trop loin, le dénature et l'empêche de reprendre corps ; puis le fait chimique de la sulfuration, que le pétrissage seul n'accomplit pas ou accomplit mal. Ce n'est qu'avec le temps et par l'action d'un étuvage prolongé que la sulfuration s'achève dans le corps même de la rondelle. Si l'on chauffe outre mesure le caoutchouc pour y introduire un excès de soufre, on

n'obtient qu'un produit mou, que le premier choc déforme si on l'emploie trop tôt, et qui sera dur et cassant quelques mois plus tard, quand la combinaison sera parfaite. L'industrie parisienne, qui fabrique ces mille objets en caoutchouc qu'on nous offre à chaque pas, agit bien plus sûrement et plus régulièrement par immersion dans des liquides sulfurés, tels que le sulfure de carbone et le chlorure de soufre; le procédé est chimique, en harmonie avec les notions admises pour produire une sulfuration moléculaire, et ne donnera jamais, comme le premier, des caoutchoucs avec dépôts de soufre à l'intérieur.

On objecte la sulfuration inégale qu'opérerait sur une rondelle épaisse l'action d'un liquide agissant de l'extérieur à l'intérieur; mais je ferai remarquer que la sulfuration pourrait être moindre au centre qu'à la surface sans inconvénient, eu égard au mode de travail de la rondelle; que des procédés de désulfuration par les solutions alcalines permettent d'enlever l'excès de soufre en procédant de la surface au centre, ce qui conduit à une régularité suffisante; enfin, que la réduction que je demande sur l'épaisseur viendra en aide sous ce rapport.

Malgré les défauts que je viens de signaler, les ressorts en caoutchouc coûtent peu d'entretien. Le nombre des rondelles remplacées pendant une année a été de 170 dont 132, pour la traction et 38 pour le choc: soit environ 780 fr. de dépense pour un ensemble de véhicules composé comme suit:

470	Châssis avec choc et traction faisant le service des marchandises, à l'exception de 50 trucks à équipages; rondelles par châssis, 44, soit	20,680	
844	Châssis et trucks à maringottes, à tampons secs, munis de quatre rondelles chacun à la traction	3,376	
<hr/>			
Total des véhicules	1,314	Total des rondelles	24,056
Casse pour 0/0, 0.7.			

Pendant la même période, on changeait 93 ressorts de choc et de traction, dont la réparation coûtait en moyenne 40 fr. par ressort : dépense, 3,720 fr. pour un nombre de voitures beaucoup plus restreint, ainsi composé :

298 Voitures à voyageurs 1^{re}, 2^e, 3^e, et bagages.

242 Wagons à marchandises.

Total des véhicules	540	Total des ressorts	1,080
Casse pour 0/0.	8.6		

La différence en faveur du caoutchouc est énorme, parceque nous avons des ressorts d'acier reconnus mauvais aujourd'hui ; mais, expérience pour expérience, mieux vaut avoir fait la première.

On nous promet pour l'avenir des ressorts qui ne casseront pas, on a presque tenu déjà une semblable promesse pour des ressorts de suspension à marchandises sans mains ; mais le travail du choc et de la traction est bien autrement brutal, et je crois qu'il ne faudrait pas s'y fier outre mesure : les écoles faites sur l'acier coûtent trop cher. Ma conclusion sera donc qu'on fait aujourd'hui de fort bons ressorts d'acier, auxquels je rends toute justice, mais que les ressorts en caoutchouc ne sont pas à dédaigner, surtout pour le matériel à marchandises, où de petites courses suffisent. Ils présentent les avantages tout spéciaux de peser peu, de se loger partout et de pouvoir se réparer indéfiniment avec une facilité extrême. L'application pour les grandes courses en est encore coûteuse aujourd'hui, et l'acier semble s'y prêter mieux ; mais que la concurrence fasse baisser le prix des rondelles, que leur fabrication, trop engourdie par les douceurs du monopole, vienne à faire preuve de cette énergique intelligence qui conduit au succès, et je ne désespère pas de voir le caoutchouc, malgré son origine organique, marcher de front avec son aîné, pour le plus grand avantage de tous.

Note sur le caoutchouc vulcanisé et sur son emploi comparé à celui de l'acier fondu pour les ressorts des voitures et wagons dans les chemins de fer,

PAR M. E. DEBONNEFOY.

Dans un moment où l'importance des chemins de fer existants prend un développement si notable, et où d'autres, en cours d'exécution, s'occupent de l'étude de leur matériel roulant, il peut y avoir quelque intérêt à présenter à la Société les résultats d'expériences faites sur le caoutchouc vulcanisé, disposé en rondelles, et destiné à remplacer dans les voitures ou les wagons les ressorts en acier fondu pour la traction et pour le choc.

Les caoutchoucs vulcanisés employés dans les chemins de fer sont très variables de nature. C'est là un fait facile à constater.

Au point de vue des résultats, les uns, moins élastiques et plus résistants, ne perdent de leur épaisseur, sous une charge donnée, que les deux tiers de ce que perdent les autres, ainsi que le démontre le tableau suivant :

Cote sous 6000 ^k .	Cote après l'essai.	Différence ou pertes d'épaisseurs.		
0.0625	0.1110	0.0485	Rondelles noires,	n° 1
0.0575	0.1225	0.0650	Id.	n° 2
0.0500	0.1150	0.0650	Id	n° 3
0.0485	0.1130	0.0645	Rondelles circulaires,	n° 4
0.0465	0.1157	0.0692		n° 5
0.0430	0.1165	0.0735		n° 6

Au point de vue de la composition chimique, les mêmes différences peuvent être observées.

Le caoutchouc ordinaire du commerce, incinéré avec soin, laisse au plus 0,008 de cendre et fond sans décrépiter.

Les rondelles essayées ont présenté, après l'incinération, les résultats suivants :

Rondelles noires	du n° 1	Cendres, 0.350.	Fond sans décrépiter.
Id.	du n° 2	» 0.430	Décrépité.
Id.	du n° 3	» 0.050	Décrépité.
Rondelles circulaires	du n° 4	» 0.053	Décrépité.
Id.	du n° 5	» 0.479	Fond bien.
Id.	du n° 6	» 0.064	Décrépité.

Enfin les poids de ces rondelles, dont les dimensions sont sensiblement les mêmes, diffèrent aussi d'une manière notable.

Poids de la rondelle.

0 ^k .418	Rondelles noires,	n° 1
0.512	Id.	n° 2
0.340	Id.	n° 3
0.327	Rondelles circulaires,	n° 4
0.499	Id.	n° 5
0.329	Id.	n° 6

Et l'on peut remarquer, ce qui d'ailleurs est tout naturel, que les rondelles les plus lourdes sont aussi celles qui donnent les résidus les plus considérables.

Les matières minérales, chaux ou plomb, qui se trouvent dans certaines rondelles, ont-elles une action favorable, ou doivent-elles être considérées comme inertes? Résultent-elles, ou non, invinciblement, de la fabrication du caoutchouc vulcanisé?

Les expériences dont il va être question, l'analyse chimique, ainsi que les renseignements puisés dans les ouvrages qui traitent de la matière (M. Payen entre autres), permettent de penser que la chaux et le plomb introduits dans les rondelles n'ont aucune action favorable; que la quantité de ces matières résultant nécessairement du mode de fabrication de certains caoutchoucs vulcanisés ne peut dépasser 5 à 8 p. 100, et que, par conséquent, les poids que l'on trouve dans certains cas sont très exagérés.

Il en est de même de l'excès de soufre qui s'y rencontre : loin d'être utile, il rend les rondelles cassantes et doit être évité comme l'un des agents les plus nuisibles.

Quoi qu'il en soit, il résulte incontestablement des faits qui viennent d'être signalés, que les rondelles en caoutchouc livrées par les divers fabricants présentent dans leur composition, dans leur densité comme dans leurs résultats, à la pression, des différences très considérables. Les rondelles dont l'épaisseur est moitié de celles-ci donnent encore de plus mauvais résultats. Il conviendrait donc de rechercher les causes qui peuvent déterminer à s'arrêter, dans l'emploi, à l'une ou à l'autre de ces fabrications diverses.

Dans ce but, des expériences comparatives ont été tentées. Trois rondelles de chaque espèce, et de 0^m.038 d'épaisseur chacune, ont été simultanément placées dans un guide de tampon et soumises à des pressions graduellement croissantes de 900 à 6,000 kil. De l'examen des courbes représentatives des dépressions (fig. 14, 15, 16, 17, 18 et 19, pl. 34) sous chacune de ces charges, pour six séries de trois rondelles de fabrication différente, et de celui des rondelles soumises à l'essai, on peut conclure que plus les rondelles sont élastiques plus elles s'altèrent, et inversement.

De telle sorte que, dans le choix à faire, l'on doit voir si l'on préfère des rondelles ne s'altérant pas, mais ne donnant une course que de 0^m.0485 pour trois rondelles sous 6,000 kil., ou des rondelles donnant une course pour trois rondelles de 0^m.0735 sous 6,000 kil., mais s'altérant beaucoup.

De plus, l'inspection des courbes présente un fait assez saillant, celui de la limite d'élasticité des rondelles. Il est évident, *a priori*, que le caoutchouc vulcanisé, comme toute matière compressible et élastique, doit avoir une limite d'élasticité que l'on ne saurait franchir sans altérer la matière; que, jusqu'à cette limite, variable suivant la nature des rondelles employées, il doit perdre de moins en moins pour des charges égales; que, passé cette limite d'élasticité, alors que la rupture, ou tout au moins la déformation,

commence, le caoutchouc doit perdre davantage pour des charges égales.

Ce point limite, les courbes de dépression l'indiquent à ne pas s'y méprendre. En effet, les six courbes, après s'être rapprochées progressivement de la verticale (1) et y être même arrivées pour deux d'entre elles, s'en écartent brusquement, et, formant une courbe nouvelle, fixent le point limite de charge que l'on ne saurait dépasser, que l'on ne doit pas même atteindre.

		Poids sous lequel les 3 rondelles atteignent leur limite d'élasticité.	Pertes d'épaisseur correspondantes pour les 3 rondelles.
Rondelles noires,	n° 1	3,700 ^k	0 ^m .0420
Id.	n° 2	2,650	0.0530
Id.	n° 3	3,020	0.0560
Rondelles circulaires,	n° 4	2,350	0.0556
Id.	n° 5	3,020	0.0612
Id.	n° 6	2,250	0.0628

Et alors le choix doit se porter sur des rondelles donnant une course de moins de 0^m.042 pour trois rondelles sous 3,700 kil. et peu sujettes à altération, ou sur des rondelles donnant une course de moins de 0^m.0628 pour trois rondelles sous 2,250 kil., mais devant présenter une altération rapide.

Posé dans ces conditions l'on peut, avec une certaine assurance, discuter l'emploi du caoutchouc vulcanisé comme ressort de traction ou de choc, et le comparer à celui de l'acier pour les mêmes usages.

L'expérience faite sur divers chemins de fer a généralement fait reconnaître que le caoutchouc vulcanisé ne résiste pas aux efforts considérables et fréquents auxquels il est exposé lorsqu'il est appliqué à la traction. Aussi dans la construction des wagons revient-on aux

(1) Il est facile de comprendre que, si la dépression était nulle, la courbe serait une ligne verticale, et que, dans le cas d'une dépression infinie, elle serait horizontale.

ressorts de traction en acier. Quoi qu'il en soit, les observations suivantes, relatives au caoutchouc vulcanisé employé pour le choc, peuvent *a fortiori* s'appliquer au caoutchouc vulcanisé employé à la traction.

Quant à l'application de cette matière comme ressort de choc, en admettant pour un moment que la fabrication du caoutchouc vulcanisé, se perfectionnant, permette d'atteindre sans inconvénients la limite d'élasticité posée précédemment pour les rondelles existantes, il faut examiner si les tampons composés de quatre rondelles donnant une course de 0^m.050 à 0^m.055 sous une charge de 3,700 kil., ou une course de 0^m.080 sous 2,250 kil., répondront aux besoins de l'exploitation. Ce résultat est au moins contestable.

Des tampons composés de quatre rondelles, nombre généralement admis, et ne pouvant supporter une charge supérieure à 2,250 kil., seront rapidement déformés, ou si l'on veut limiter leur course, reporteront directement sur les châssis tous les chocs supérieurs à 2,250 kil., c'est-à-dire n'auront plus d'action au point de vue de la conservation du matériel passé cette limite très restreinte.

Des tampons composés de quatre rondelles et ne donnant que 0^m.050 à 0^m.055 de course sous une pression de 3,700 kil., ne permettront pas au matériel un passage facile dans les courbes, et opposeront, dans ces cas, une résistance considérable; ils auront encore pour effet de ne pas amortir les chocs de gare, généralement très inférieurs à 3,700 kil., et de les reporter sur les châssis.

Ainsi le premier fait général reconnu par l'inspection du tableau comparatif, à savoir que les rondelles les plus élastiques se déforment le plus, et inversement, peut être reproduit en le spécifiant davantage, et l'on peut dire que le choix est limité entre des rondelles qui ne peuvent supporter que des efforts très restreints, mais qui jouissent d'une certaine élasticité et s'altèrent facilement, ou des rondelles propres à supporter des charges plus fortes, mais sans élasticité.

Enfin, et sans comparer entre elles les diverses rondelles soumises à l'essai, le rapport entre les courses que peut donner un ressort de

choc en caoutchouc vulcanisé composé de quatre rondelles, et celles que l'on peut obtenir en employant l'acier, est de un à quatre environ : les ressorts de choc et de traction employés dans les divers chemins ont en effet, en général, une course de 0.^m20 à 0.^m25, et, la course n'étant autre chose, lorsqu'on ne dépasse pas la limite d'élasticité, que la mesure de cette même élasticité, on peut dire que les ressorts en acier sont quatre fois plus élastiques que les ressorts en caoutchouc vulcanisé composés de quatre rondelles.

Il peut être utile de résumer ici les diverses propositions qui viennent d'être discutées, afin de présenter la question dans son ensemble :

1° Le caoutchouc vulcanisé tel que le livrent les fabricants est très variable de qualité au point de vue de sa composition, de sa densité et de son élasticité ; il contient de 0,05 à 0,479 de cendre. Les rondelles pèsent de 0.^k512 à 0.^k3299 l'une.

Enfin trois rondelles soumises à des pressions successives, jusque et y compris 6,000 kil., perdent de leur épaisseur de 0.^m0485 à 0.^m0735.

Il y a donc lieu de rechercher à laquelle de ces diverses fabrications il est convenable de s'arrêter, et l'on peut en conclure de prime abord que la question est encore loin d'être assez étudiée pour qu'il soit permis d'adopter cette matière autrement qu'à titre d'essai.

2° Les expériences dont il vient d'être rendu compte prouvent que les rondelles soumises à des pressions égales s'altèrent d'autant plus qu'elles sont plus élastiques, et inversement ;

3° Qu'elles atteignent une limite d'élasticité passé laquelle commence la rupture, ou tout au moins la déformation, et que ce fait a lieu dans des limites de charge très restreintes pour les rondelles élastiques ;

4° Que la course dont on dispose jusqu'à cette limite d'élasticité varie pour les rondelles de diverses fabrications :

De 0.^m0420 sous 3,700^k pour 3 rondelles,

De 0.0628 sous 2,250 pour 3 rondelles ;

5° Que ces courses ne peuvent même être atteintes dans la pratique, parcequ'on ne doit pas charger les rondelles d'un poids correspondant à leur limite d'élasticité.

6° Le choix se trouve donc, en définitive, limité entre des rondelles qui ne peuvent supporter que des efforts très faibles, sans s'altérer profondément, ou des rondelles propres à supporter des charges plus fortes, mais ne présentant pas d'élasticité.

7° Enfin l'acier, dans les formes et les dispositions généralement employées, donne quatre fois autant d'élasticité que des tampons composés de quatre rondelles de caoutchouc vulcanisé des plus élastiques.

Il convient d'ajouter à ces conclusions :

8° Que la valeur du caoutchouc vulcanisé qui a servi est nulle, tandis que celle de l'acier est toujours considérable ;

9° Et que les appareils de choc en caoutchouc vulcanisé, placés généralement aux extrémités des wagons, fatiguent les assemblages bien autrement que les ressorts de choc en acier, que l'on peut placer et que l'on place au milieu des trains.

Il résulte de l'ensemble de ces faits que, dans l'état actuel de sa fabrication, le caoutchouc vulcanisé est d'un mauvais emploi sous forme de rondelles destinées à remplacer, dans les matériels de chemin de fer, les anciens ressorts en acier, qui, au contraire, doivent lui être préférés de beaucoup.

Une seule question reste à examiner : *celle du prix de revient.*

Les premiers appareils en caoutchouc vulcanisé, créés à une époque où les ressorts en acier étaient généralement mal fabriqués et d'un prix considérable, près de 2 fr. le kilogramme, ont paru dès l'abord présenter une économie notable dans la construction du matériel : ils étaient simples, légers, peu coûteux ; mais bientôt on reconnut dans leur construction des défauts auxquels on dut porter remède ; on porta de trois à quatre, et même à cinq, le nombre des rondelles de chaque tampon ; on remplaça les disques de séparation en fonte par des disques semblables en tôle, moins rugueux que les

précédents et s'opposant moins au glissement des faces des rondelles, devant par conséquent rendre moins fréquente leur séparation en plusieurs parties; les oreilles sans nervures se brisant fréquemment on dut les renforcer en augmentant le poids de la fonte; les plateaux se brisant aussi, ils durent être modifiés.

Enfin l'on est arrivé à réaliser des avantages nouveaux en leur appliquant des tiges de tampon en fer semblables à celles employées dans les appareils de choc en acier.

Mais à chacune de ces modifications correspondait une augmentation dans le prix de revient des appareils.

Tout au contraire, pendant la même période, la fabrication des ressorts en acier recevait une impulsion nouvelle. A l'acier ordinaire l'on substituait l'acier fondu, et néanmoins les prix descendaient graduellement de 2 fr. à 1 fr. 85 c., à 1 fr. 65 c., à 1 fr. 50 c., à 1 fr. 45 c. et à 1 fr. 35 c. le kilogramme.

De telle sorte qu'aujourd'hui la différence considérable de prix constatée il y a quelques années a presque complètement disparu, et que celle qui subsiste encore est compensée par la valeur de l'acier considéré comme vieille matière.

**DEVIS D'UN APPAREIL DE CHOC EN CAOUTCHOUC VULCANISÉ, COMPOSÉ
DE 4 RONDELLES ET DISPOSÉ AVEC TIGES DE TAMPONS.**

4 Tiges de tampons avec écrous.	92 ^k à 1 ^r 20	110 ^r 40
2 Platines de disques en bois	4 à 1 20	4 80
8 Boulons de guides	3.200 à 1 00	3 20
Rondelles en tôle garnies d'étain et renflées.	7.600 à 2 00	15 20
Fonte de 4 tampons.	130 à 0 50	65 00
	(en raison de l'ajustage)	
Fonte de 4 guides.	17.200 à 0 35	6 02
16 Rondelles de 0 ^k .329 l'une	5.264 à 12 00	63 168
Total		267 788

Tandis que le prix de revient d'un appareil analogue en acier fondu peut être ainsi décomposé :

4 Tiges de tampons.	182 ^k	à 0 ^r 80	145 ^r 60
2 Platines à disque en bois.	4	à 1 20	4 80
8 Boulons des guides.	3.200	à 1 00	3 20
4 Guides des bouts	80	à 0 40	32 00
4 Battoirs des bouts.	17 ^k	} 23	à 0 35
4 Guides.	6		
Ressorts de choc et de traction, 150 ^k , dont il convient de déduire			
46 ^k , poids de 2 ressorts de traction dont ils tiennent lieu. Reste 104 ^k			
acier fondu, à 1 fr. 35 c.			140 40
			<hr/>
			334 05

Le ressort en acier fondu dans ces conditions aurait 0^m.050 de bande initiale, 0^m.250 de flèche utile, et supporterait une charge de 4,000 kilogrammes.

Le prix des tiges de tampons est porté dans un cas à 1 fr. 20 c. le kilogramme, dans l'autre à 0 fr. 80 c., parce que les premiers ne comprennent que la partie travaillée et le disque, tandis que les autres ont une tige longue et pesante, qui ne donne lieu qu'à des dépenses de main-d'œuvre très faibles. Il en est de même des tampons en fonte, portés dans un cas à 0 fr. 60 c., dans l'autre à 0 fr. 50 c.

Différence.	66 fr. 27 c.
Valeur de 104 kil. acier vieux.	41 60
	<hr/>
Reste.	24 fr. 67 c.

*Expériences sur les résistances à la compression des six tampons
de choc suivants :*

INDICATION des charges successives.	TAMPON COMPOSÉ DE											
	3 rondelles du n° 1, pesant l'une 0 ^k .418.		3 rondelles du n° 2, pesant l'une 0 ^k .512.		3 rondelles du n° 3, pesant l'une 0 ^k .340.		3 rondelles circulaires du n° 4, pesant l'une 0 ^k .327.		3 rondelles du n° 5, pesant l'une 0 ^k .499.		3 rondelles du n° 6, pesant l'une 0 ^k .3299.	
	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche	Flèche sous l'effort corres- pondant	Perte de flèche
900 ^k . . .	^m 0.1125	0.0235	^m 0.125	0.0035	0.1180	0.0396	^m 0.114	0.045	^m 0.117	0.0445	^m 0.117	0.050
980 . . .	0.089	0.0020	0.090	0.0045	0.0784	0.0024	0.069	0.0010	0.0725	0.0000	0.067	0.0010
1100 . . .	0.087	0.0035	0.0855	0.0085	0.076	0.0035	0.068	0.0025	0.070	0.0055	0.066	0.0040
1400 . . .	0.0835	0.0010	0.077	0.0003	0.0725	0.0025	0.0655	0.0011	0.0645	0.0018	0.062	0.0025
1500 . . .	0.0825	0.0025	0.0767	0.0007	0.070	0.0025	0.0644	0.0019	0.0627	0.0007	0.0595	0.0015
1600 . . .	0.080	0.0015	0.076	0.0005	0.0675	0.0015	0.0625	0.0010	0.062	0.0008	0.058	0.0010
1700 . . .	0.0785	0.0015	0.0755	0.0008	0.066	0.0011	0.0615	0.0010	0.0612	0.0005	0.057	0.0015
1850 . . .	0.077	0.0015	0.0747	0.0007	0.0649	0.0009	0.0605	0.0005	0.0607	0.0012	0.0565	0.0010
1950 . . .	0.0765	0.0015	0.074	0.0015	0.064	0.0020	0.060	0.0013	0.0595	0.0010	0.0555	0.0011
2150 . . .	0.0755	0.0010	0.0725	0.0009	0.062	0.0005	0.0587	0.0002	0.0585	0.0010	0.054	0.0003
2250 . . .	0.0745	0.0005	0.0716	0.0005	0.0615	0.0005	0.0585	0.0014	0.0575	0.0005	0.0537	0.000
2350 . . .	0.074	0.0010	0.071	0.0005	0.0610	0.0007	0.0574	0.000	0.057	0.0006	0.0537	0.0012
2450 . . .	0.073	0.0005	0.0705	0.0005	0.0605	0.0003	0.0574	0.0002	0.0564	0.0004	0.0525	0.0005
2550 . . .	0.0725	0.0005	0.070	0.0005	0.0600	0.0005	0.0572	0.0002	0.056	0.0005	»	»
2650 . . .	0.072	0.0010	0.0695	0.0035	0.0595	0.0005	0.057	0.0015	0.055	0.0005	0.052	0.0030
3020 . . .	0.071	0.0020	0.066	0.0020	0.059	0.0030	0.0565	0.0025	0.0545	0.0020	0.049	»
3700 . . .	0.069	0.0025	0.064	0.0010	0.056	0.0010	0.054	0.0010	0.0525	0.0015	»	0.0016
4000 . . .	0.0675	0.0025	0.063	0.0035	0.055	0.0025	0.053	0.0020	0.051	0.0020	0.0474	0.0024
5000 . . .	0.065	0.0025	0.0595	0.0020	0.0525	0.0025	0.051	0.0025	0.049	0.0025	0.045	0.0020
6000 . . .	0.0625	0.0485	0.0575	0.0650	0.0500	0.065	0.0485	0.0645	0.0465	0.0692	0.043	0.0735
Flèche après l'essai. . .	0. ^m 1110		0. ^m .1225		0. ^m .1150		0. ^m .1130		0. ^m .1157		0. ^m .1165	

Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 1.



Echelle de $\frac{1}{20}$ poi



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 1.

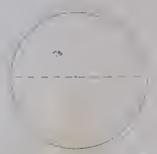


Fig. 19.

Fig. 18.

Fig. 17.

Fig. 16.

Fig. 15.

Fig. 14.

Fig. 10.



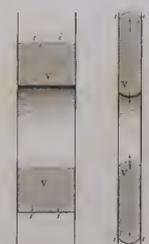
Fig. 11.



Fig. 12.



Fig. 13.



Échelle de 1/2 pour les Figs 10, 11, 12, 13.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(Avril, Mai et Juin 1854.)

N° 25

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° Perfectionnements apportés dans la construction des signaux télégraphiques (V. le résumé des séances, page 49);

2° Discussion sur la forme et la résistance des rails (V. le résumé des séances, pages 51 à 56 et 65 à 79);

3° Renseignements sur les sondages (V. le résumé des séances, page 57);

4° Situation financière de la Société (V. le résumé des séances, page 81);

5° Communication sur le drainage (V. le résumé des séances, page 82);

6° Emploi des longrines en remplacement des traverses de joint (V. le résumé des séances, page 89).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Muntz, un Mémoire sur la forme et la force des rails;

2° De M. Hauchecorne, une Note sur la statistique des chemins de fer allemands;

3° De M. Ebray, membre de la Société, une collection de fossiles;

4° De M. Stéphane Mony, membre de la Société, la collection complète des annales des mines depuis 1832 jusqu'à 1852 inclusivement ;

5° De M. Petit de Coupray, membre de la Société, un exemplaire de son Annuaire des chemins de fer de l'année 1854 ;

6° De M. Ch. Bordon, un exemplaire d'un mémoire sur les améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer ;

7° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire sur les accidents des chemins de fer ;

8° De M. Barberot, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur l'emploi des serre-rails et des table-rails ;

9° De la Société d'agriculture de l'Aube, une collection de la 2^e série de ses bulletins ;

10° De M. Bellier, membre de la Société, une collection des cahiers des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi ;

11° De M. Ebray, membre de la Société, une Note sur l'étude géologique des arrondissements de Loudun, Châtellerault, Livray et Montmorillon ;

12° De M. Grenier, membre de la Société, une Note sur le rail Vignolle employé aux Etats-Unis ;

13° De M. Tourneux, membre de la Société, un dessin du système de voie posée au chemin de Dôle à Salins.

14° De M. Willien, membre de la Société, un travail sur la statistique générale des chemins de fer de Strasbourg à Bâle et de Mulhouse à Thann (service de la voie) ;

15° De M. Mirecki, membre de la Société, une Note sur l'emploi des longrines en remplacement des traverses de joint.

16° De M. Cavé, une description d'un nouveau système de roues pour chemins de fer, et d'un nouveau système de rails en fer, avec longrines en fonte ;

17° De M. Emile With, quatre planches contenant les dessins de l'appareil qui a servi à faire des essais sur la résistance des rails par le gouvernement de Prusse ;

18° De la Société d'encouragement, la collection de ses bulletins depuis janvier 1854;

19° De MM Huet et Geyler, un Mémoire sur le drainage.

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois d'Avril,

M. BARET, présenté par MM. Vuigner, Perdonnet et Cornet.

M. DENISE, présenté par MM. Vuigner, Cornet et Grenier.

M. MESMER, présenté par MM. Loustau, Petiet et Schrœder.

M. CHOLLET, présenté par MM. Vuigner, Perdonnet et Grenier.

M. MARSILLON, présenté par MM. Vuigner, Perdonnet et Grenier.

Au mois de Mai,

M. GUÉRIN, présenté par MM. Petiet, Loustau et Faure.

M. NODLER, présenté par MM. Forquenot, Bourgougnon et Limet.

M. CAPUCCIO, présenté par MM. Faure, Priestley et Mathieu.

M. LECORBELLIER, présenté par MM. Lemoine, Le Roy et Moreau.

M. FAUCONNIER, présenté par MM. Steger, Barberot et Thomas.

Note sur l'exploitation des chemins de fer à une voie en Allemagne,

PAR M. FÉLIX MATHIAS.

M. le Ministre des travaux publics a institué une commission d'enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de la circulation sur les chemins de fer.

Au nombre des questions posées aux délégués des Compagnies se trouvent naturellement celles concernant l'exploitation des chemins à simple voie ; mais comme jusqu'ici aucun service de cette nature n'a été installé en France que sur une petite échelle, et même d'une manière tout à fait temporaire, sur quelques lignes, il n'est pas probable que la commission recueille sur ce sujet des renseignements complets et satisfaisants. Il serait néanmoins regrettable, dans l'intérêt du développement du réseau français, par conséquent dans celui de l'industrie et de la prospérité du pays, que les résultats d'une expérience faite dans des conditions défavorables puissent mettre en doute la possibilité de faire en toute sécurité un service à une seule voie. Ce serait préparer la ruine de toutes les entreprises récemment concédées, pour lesquelles l'économie d'établissement est le premier élément de succès.

Le service à simple voie offre, sans contredit, des difficultés qu'on ne rencontre pas dans l'exploitation des lignes à deux voies ; mais admettre qu'on ne puisse y organiser un service sûr et régulier, c'est méconnaître les résultats obtenus dans des pays voisins, où depuis des années l'exploitation à une voie fonctionne sur une très grande échelle.

L'Allemagne offre, à cet égard, un vaste champ d'exploration. Sur les 8,235 kil. dont se compose actuellement le réseau germanique, 6,660 kil., c'est-à-dire 80 p. 100, sont exploités à simple voie. Ce serait d'ailleurs à tort qu'on croirait que la circulation sur ces lignes est sans importance ; elles relient entre elles des villes

telles que Cologne, Hambourg, Brème, Berlin, Stettin, Dantzig, Posen, Breslau, Prague, Vienne, Munich, qui toutes forment des centres industriels considérables, et, par conséquent, donnent naissance à des transports de voyageurs et de marchandises comparables à ceux qui ont lieu sur certains parcours des chemins de premier ordre en France. Presque sur tous les chemins les convois circulent de nuit, et sur quelques uns on trouve une organisation de trains à grande vitesse qui se rapproche de celle des chemins de Rouen, du Nord et de Strasbourg.

Sur le chemin de fer de Cologne à Minden, par exemple, d'une longueur de 272 kil., les trains express effectuent leur trajet en 5 heures 35 minutes. C'est une vitesse moyenne de près de 50 kil., et une vitesse de marche de 68 à 70 kil. à l'heure. Le parcours kilométrique journalier est de 4,000 kil. en moyenne.

Le nombre des accidents a été jusqu'ici tout à fait insignifiant en Allemagne, et ce n'est qu'exceptionnellement que quelques uns d'entre eux ont pu être attribués au système d'exploitation à simple voie.

A côté de ces heureux résultats obtenus dans un pays limitrophe, nous assistons, en France, au développement d'une tendance de l'opinion publique à déprécier outre mesure le service sur une voie, ou du moins à lui faire imposer des restrictions telles que tout développement du trafic y deviendrait impossible. Il y a donc opportunité à donner quelques détails sur l'exploitation actuelle des lignes allemandes.

Ces renseignements feront ressortir que, si jusqu'ici on n'a pas trouvé en France toutes les garanties de sécurité désirables dans un service à simple voie, c'est qu'installé presque toujours seulement d'une manière provisoire et précipitée, il n'a pas été pourvu de signaux spéciaux, dont l'emploi aurait été superflu dans le service à double voie, qui devait lui succéder.

En Allemagne, il n'en a pas été de même. L'exploitation à simple voie devant rester définitive, les Compagnies ont fait tous les sacrifices pour la doter successivement des aménagements perfectionnés

capables d'assurer la sécurité, la régularité et le développement de la circulation.

Pour répondre au besoin du moment, les renseignements que j'ai recueillis sont classés de façon à les adapter aux questions posées dans le programme d'enquête concernant l'exploitation à simple voie. Je rappellerai ici ces questions, mais en intervertissant l'ordre dans lequel elles ont été posées :

« 1° L'exploitation sur une seule voie n'exige-t-elle pas des modifications dans le système des signaux ?

» 2° N'entraîne-t-elle pas un usage plus régulier, plus fréquent, du télégraphe ?

» 3° Signale-t-on les trains de proche en proche et de station en station au moyen du télégraphe électrique ?

» 4° Comment évite-t-on la rencontre des trains marchant en sens contraire ?

» 5° Comment va-t-on au secours d'un train marchant en sens contraire ?

» 6° A quelle règle soumet-on la circulation des trains spéciaux ou extraordinaires dans l'exploitation sur une seule voie ?

» 7° Arrive-t-il souvent que le télégraphe électrique éprouve des perturbations ? A quelles causes ces perturbations sont-elles dues ? Quelles mesures prend-on pour assurer le service lorsqu'elles ont lieu ?

» 8° Fait-on usage, pour l'exploitation à une seule voie, d'un système consistant à faire accompagner tous les trains entre les points de croisements par un pilote ou à les faire remorquer par une machine-pilote, qui revient ensuite au point de départ ? »

Enfin subsidiairement pour les chemins à double voie :

« 9° Quelles mesures prend-on lorsqu'il y a nécessité, pour cause de réparation, d'exploiter momentanément une partie de la ligne sur une seule voie ? »

1° *L'exploitation sur une seule voie n'exige-t elle pas des modifications dans le système des signaux?*

L'exploitation des lignes à simple voie exige des signaux complètement différents et beaucoup plus compliqués que ceux en usage sur les chemins à double voie. Sur ces derniers, les trains pouvant toujours être expédiés sans qu'on ait besoin de se préoccuper de l'arrivée des trains venant en sens opposé, les signaux n'ont d'autre but que de commander l'attention, le ralentissement ou l'arrêt. Il y a généralement deux catégories de signaux : les uns sont fixes, les autres mobiles. Les signaux fixes sont placés, sous forme de disques, aux abords des stations, des bifurcations et de tous les obstacles locaux. Ils sont complètement indépendants les uns des autres, et destinés seulement à couvrir un train arrêté ou à interdire le passage; les signaux mobiles sont donnés avec le drapeau rouge le jour, la lanterne à trois feux de couleurs variables la nuit (blanc, vert, rouge). Pour les temps de brouillard ou lorsqu'on ne peut rester sur la voie pour faire les signaux, on se sert en outre, sur quelques lignes, de pétards.

Sur les chemins à simple voie, les signaux ont d'autres conditions à remplir. Un train ou une machine ne pouvant partir d'une station intermédiaire ou d'un garage sans être annoncé et sans connaître la marche du train venant en sens opposé, il faut non seulement que les signaux puissent, comme dans un service à double voie, commander *l'attention, le ralentissement ou l'arrêt*, mais encore 1° indiquer de proche en proche le sens de la marche des trains, 2° avertir des modifications survenues ou à faire dans les garages de trains par suite de retard; 3° appeler au besoin une machine de secours.

Les signaux à transmettre à distance se donnent, sur les chemins allemands, par un appareil fixe, espèce de télégraphe aérien qui est placé le long de la voie. Sa construction est à peu près la même sur toutes les lignes. Il se compose d'un mât de 9 à 10 mètres de

hauteur, en échelle de perroquet; l'extrémité supérieure du mât porte, sur un axe perpendiculaire à la ligne des rails, deux bras peints en rouge et formés de lames de fer, disposés en jalousies pour en alléger le poids et offrir moins de résistance au vent. Ces bras sont manœuvrés par un garde à l'aide d'un tirage en fils de fer qui lui permet de leur faire prendre à volonté, soit isolément, soit simultanément, des positions horizontales ou verticales, ou bien des directions inclinées à 45°, tantôt au dessus, tantôt au dessous de l'axe de rotation. Six combinaisons suffisent toujours pour la transmission des signaux de jour. Le prix d'un pareil mât est de 172 fr.

Sur quelques chemins, tels que ceux de Breslau, d'Anhalt et de Hamm à Cassel, dans le but de faire apercevoir aux mécaniciens le plus loin possible les signaux indiquant la voie *libre*, le *ralentissement* ou l'*arrêt*, on a compliqué la disposition du mât d'un gros ballon en osier peint en rouge qui glisse sur une tringle, et qu'on fixe en haut, au milieu ou en bas, selon que l'on veut faire un des trois signaux locaux. Sur le chemin de Brunswick, on a adapté, dans le même but, un disque rouge en tôle au sommet du mât, et on le tourne à volonté, soit perpendiculairement, soit parallèlement à la voie.

Les signaux d'arrêt ne se font à l'aide de pétards que sur le chemin de Dantzig.

La disposition des signaux de nuit est très variée. Chaque chemin a pour ainsi dire son système. Sur le chemin Rhénan, on place les lanternes dans des chapelles ménagées dans les maisons de gardes; sur d'autres, on les accroche contre des poteaux spéciaux, ou deux l'une à côté de l'autre, ou deux l'une au dessus de l'autre, ou trois à angle droit. Sur les chemins de construction plus récente, tel que celui de Cologne à Minden, les lanternes sont à feu blanc, vert ou rouge, et elles s'emploient combinées deux à deux. On les applique contre le mât même, de manière à présenter toujours leur feu du côté opposé à la direction du train attendu.

Les télégraphes aériens ont l'inconvénient d'obliger les gardes à

se tenir dans le voisinage des mâts et d'en augmenter notablement le nombre : car ces télégraphes, pour se prêter efficacement à la transmission sûre et prompte des signaux, doivent être assez rapprochés les uns des autres pour que le mécanicien ait toujours un signal en vue. Aussi leur espacement ne dépassait-il jamais, dans l'origine 400, à 500 mètres. L'entretien de la voie gagne à cette multiplicité de gardes, mais elle constitue une charge très onéreuse pour l'exploitation.

2° *N'entraîne-t-elle pas un emploi plus fréquent et plus régulier du télégraphe ?*

Les télégraphes aériens ont un autre inconvénient plus grave et plus sérieux, celui d'être complètement inefficaces en temps de brouillard ou de neige. Depuis deux ans, on a heureusement suppléé à leur insuffisance par l'application des courants électriques.

Cette innovation a permis de régénérer complètement le service à simple voie. Les gouvernements étrangers ont laissé sans entraves à l'intelligence des Compagnies le soin d'approprier l'emploi du télégraphe aux besoins si variés, si compliqués, je dirai si instantanés, des chemins de fer en général et de ceux à simple voie en particulier.

Dans toute l'Allemagne, le télégraphe électrique est mis à la libre disposition des administrations de chemins de fer. On leur laisse desservir les appareils par leurs propres employés, et on ne leur a imposé d'autres restrictions que celles de ne l'affecter qu'aux besoins du service, d'informer l'état du choix des appareils et de se soumettre à son contrôle. C'est en grande partie à cette sage libéralité que les chemins à simple voie doivent, en Allemagne, la précision et la sécurité de leur exploitation.

L'état a accordé aux Compagnies le droit de faire desservir les appareils par leurs propres employés, et c'est à juste titre. La première condition de sécurité, dans une exploitation de chemin de fer, c'est

que le personnel ne reçoive qu'une seule et même impulsion. Les stationnaires de télégraphe sont préposés à un service trop intimement lié à celui de la circulation des trains pour qu'ils ne relèvent pas directement du chef de l'exploitation. Les seules restrictions imposées aux administrations de chemins de fer sont : de n'affecter le télégraphe qu'aux besoins du service, d'informer l'état du choix des appareils, et de se soumettre au contrôle des commissaires royaux, qui visitent de temps à autre les registres d'inscription des dépêches.

3° *Signale-t-on les trains de proche en proche et de station en station à l'aide du télégraphe électrique?*

L'organisation adoptée est généralement celle-ci : les stations principales, ainsi que les stations intermédiaires, communiquent entre elles au moyen d'appareils alphabétiques de Siémen's ou de Kramer; les trains correspondent à volonté avec les stations où se trouvent des machines de réserve, à l'aide d'appareils télégraphiques mobiles, et, en outre, les stations signalent à tous les garde-lignes, *de proche en proche*, le départ de tous les trains, à l'aide de grosses sonneries adaptées extérieurement à la partie supérieure de leurs guérites (pl. 35, fig. 4), sonneries qui font retentir un nombre déterminé de coups de cloche lorsqu'un train marche dans la direction nord, et un nombre de coups double lorsqu'il se dirige dans le sens opposé, ou *vice versa*. Sur le chemin de Cologne à Minden, par exemple, on sonne douze fois quand un train marche de Cologne à Minden, et 24 fois quand il se dirige de Minden à Cologne. Il en résulte une telle différence de temps dans la durée du tintement, que les gardes n'ont pour ainsi dire pas besoin de compter le nombre de coups de cloche pour en reconnaître la signification.

Ce dernier mode de communication est une innovation récente à laquelle a conduit l'inefficacité des télégraphes aériens en temps de brouillard ou de neige. Elle a une large part dans les améliorations

qui se sont produites sur les chemins à simple voie. Les sonneries électriques fonctionnent d'ailleurs concurremment avec les télégraphes aériens qu'on oblige les gardes à manœuvrer, pour traduire aux mécaniciens les avis qu'ils ont reçus, et tenir constamment en éveil tous les agents de la voie.

Les sonneries électriques sont d'une construction très simple : deux timbres en fonte concentriques *a*, *a'*, ayant 0^m.50 et 0^m.40 de diamètre, sont suspendus l'un au dessus de l'autre à la partie supérieure de la guérite, et abrités par un petit toit. Ils sonnent sous l'action de deux marteaux *b*, *b'*, qui se meuvent par l'intermédiaire d'un mécanisme *mno*p se rapprochant de celui du tourne-broche à poids, dont le balancier est mu par un électro-aimant relié au fil de la ligne. La grande roue de transmission de mouvement porte à son pourtour un nombre de boutons *c* (fig. 1 et 2) correspondant au nombre de sons de cloche qu'on veut obtenir pour un tour de roue. Ces boutons font basculer deux leviers *d* qui, à l'aide de tirages en fil de fer *m*, font frapper les marteaux.

L'emploi des deux timbres a pour but la production de coups doubles très rapprochés. La dépense d'une sonnerie est de 245 fr. toute posée. Celles qui ne donnent que des coups simples, et qui, par suite, n'ont qu'un timbre et qu'un marteau, ne coûtent que 202 francs.

Les sonneries sont ou à courant continu ou à courant intermittent. Le système à courant intermittent est généralement préféré, parce qu'il n'entraîne pas l'obligation d'avoir un fil spécial. Il permet d'utiliser le même fil pour les relations des petites stations entre elles. Ce résultat économique s'obtient en réglant la palette de l'électro-aimant de chaque guérite de telle sorte que le courant, qui suffit à la correspondance de deux stations voisines, soit trop faible pour produire le déclenchement du mécanisme des sonneries, qui demandent, pour être mises en mouvement, l'addition d'une pile supplémentaire pour renforcer le courant.

Les courants intermittents offrent d'ailleurs cette autre économie

de consommer beaucoup moins de sulfate de cuivre que les courants continus.

Quand on veut faire mouvoir les sonneries sur une ligne à courant intermittent, il faut que la station voisine mette le commutateur en communication avec la terre, pour que le circuit ait lieu sans que ni le récepteur ni la sonnerie ne soient soumis à des actions magnétiques trop fortes, qui les dérégleraient complètement.

Avec les appareils à courant continu, il faut que les deux stations interrompent simultanément le courant. La disposition des appareils, dans l'un ou l'autre cas, reste la même, à la position des crochets d'embranchement près.

Quel que soit donc le système, et c'est là une heureuse obligation, il faut qu'il y ait entente préalable entre deux stations consécutives pour la mise en mouvement des sonneries.

L'entretien des appareils se résume, pour les gardes, à surveiller le mécanisme, pour qu'aucun corps étranger ne gêne les rouages, à remonter le poids, et, en hiver, à faire tomber la neige qui pourrait se fixer sur les timbres ou gêner le jeu des marteaux.

Sur le chemin de Cologne à Minden, les stations pourvues d'appareils télégraphiques fixes ne sont, en général, éloignées les unes des autres que de 10 kilomètres; les sonneries sont régulièrement placées, sur la ligne principale, de 900 mètres en 900 mètres. Il en résulte que le nombre de gardes avertis simultanément ne dépasse jamais 9 à 10. Ils peuvent donc sans inconvénient, aussitôt l'avis donné du départ d'un train, fermer les barrières, car la circulation sur les passages à niveau n'est jamais arrêtée pendant plus de 5 à 8 minutes avant l'arrivée du convoi.

Les sonneries ont encore une autre destination que celle d'annoncer le départ des trains : elles servent aux gardes de signal d'alarme, lorsque la voie présente un danger à la circulation ou que de prompts secours sont nécessaires. Pour ces cas, évidemment exceptionnels, les gardes ont ordre de faire marcher à la main les marteaux des cloches, de manière à frapper trois coups dans l'intervalle de 15 se-

condes. Le bruit arrive très facilement au garde suivant, placé à environ 1 kilomètre, et le signal se répète de proche en proche, jusqu'à la station voisine.

4° Comment évite-t-on la rencontre des trains marchant en sens contraire ?

Les règlements prévoient aussi le cas où, par une circonstance fortuite, un malentendu, le signal du départ d'un train dans un sens est suivi peu à près du signal annonçant un train lancé dans l'autre direction.

Les prescriptions portent que, dans ce cas, le garde chez lequel arrivent en premier ces avis contradictoires doit faire immédiatement et aux deux trains à la fois le signal d'arrêt, qui se transmet de garde et garde.

Lorsque les deux trains ont été arrêtés, on les fait avancer prudemment l'un vers l'autre, et les conducteurs-chefs se mettent d'accord sur le choix de celui des deux trains qui doit rétrograder, après avoir pris, bien entendu, toutes les mesures de sécurité nécessaires.

Ce sont là des précautions bonnes à indiquer, mais qui heureusement n'ont reçu et ne recevront probablement jamais d'application.

Il n'en est pas de même des précautions qui doivent présider aux modifications à introduire dans les points de garage en cas de retard des trains. Elles ont une importance très grande, car ces perturbations dans le service peuvent se reproduire journellement, et le moindre malentendu entraîné avec lui de très graves conséquences. Les règlements donnés à cet égard sont très clairs, très explicites, et les termes en sont tellement identiques pour les diverses lignes, qu'on est fondé à penser que ces prescriptions ont été arrêtées d'un commun accord.

En voici la traduction textuelle :

« Lorsque, par suite de retards dans la marche des trains, on se

sert du télégraphe pour modifier leurs croisements prévus, on observe les mesures suivantes :

» Celle des stations d'où le train doit partir doit d'abord interpeller la station vers laquelle le train se dirige par une dépêche ainsi conçue :

» Le train de voyageurs, n° peut-il partir pour ?

» Le train de marchandises, n° id,

» Le train spécial id.

» La station interpellée, lorsqu'elle veut donner son consentement au départ, doit répondre :

» Oui, le train de voyageurs, n° peut partir pour

le train de marchandises, n° id.

le train spécial id.

» En cas de refus, la rédaction de la dépêche doit être :

» Non, le train de voyageurs, n° ne peut pas partir

le train de marchandises, n° id.

le train spécial id.

» Ainsi ce n'est que lorsque la station vers laquelle un train doit avancer a donné son consentement formel à la modification apportée au croisement des trains que le train peut quitter la station où le croisement normal devait se faire.

» Toute dépêche concernant le croisement de train, et en général toute dépêche, pouvant par un malentendu occasionner un accident, doit être donnée en toutes lettres, sans aucune abréviation; la station destinataire ne doit pas seulement répondre « compris », mais faire une réponse qui soit la répétition mot à mot de la dépêche, comme il est indiqué dans les exemples ci-dessus. »

Il existe dans tous les postes télégraphiques d'Allemagne une disposition extrêmement ingénieuse (fig. 3), pour parer, autant que possible, aux inconvénients qui pourraient résulter de l'absence momentanée de l'employé de service.

Un commutateur est fixé contre le pêne de la serrure *s* de la porte du poste, les fils *v* et *z* communiquent avec une petite sonnerie, et

les fils x et y avec une grosse sonnerie ; quand l'employé est présent , ce commutateur dirige le courant dans les sonneries ordinaires du poste ; mais, quand il a besoin de s'absenter, il donne en sortant un tour de clef à la porte, et, par ce mouvement , le commutateur se place de telle sorte que le courant se dirige directement vers la grosse sonnerie de garde placée en dehors du poste , qui retentit pour avertir les employés lorsqu'une dépêche arrive.

Avant l'établissement du télégraphe, les changements de croisement se faisaient à l'aide des mâts à signaux ; on retenait à la station précédente le train qui , par suite de retard , ne pouvait arriver à l'heure prescrite à la station suivante, où devait avoir lieu le croisement, et la retenue du train était signalée de proche en proche jusqu'à la station voisine par une combinaison réglementaire des bras du télégraphe aérien voulant dire : le train ne part pas.

En général, sur les chemins d'Allemagne, les croisements de train n'ont lieu que dans les stations, et non sur des voies d'évitement situées entre deux gares.

5° *Comment va-t-on au secours d'un train sans courir le risque d'un choc ?*

Les règles données ci-dessus pour opérer avec sécurité des changements dans le croisement des trains en cas de retard seraient incomplètes si elles ne prévoyaient un autre embarras de service qui peut aussi se représenter fréquemment : l'arrêt d'un train nécessitant l'appel d'une machine de secours.

Dans tous les pays, sur les chemins à deux voies, les machines de réserve *vont d'office*, après les délais prescrits, au devant des trains attendus, et elles peuvent le faire en toute sécurité, sans crainte de collision , puisqu'elles suivent une voie différente de celle affectée à la marche du train arrêté ou en retard.

Sur les chemins à une voie, il n'en est pas ainsi : les machines de secours doivent nécessairement marcher à contre-sens du train attendu ; l'envoi *d'office* d'une machine de réserve ne serait donc pas

sans inconvénient. Aussi, sur tous les chemins de fer, d'Allemagne sans exception, la machine de secours ne peut-elle se déplacer que sur des signaux déterminés ou une demande transmise par le télégraphe électrique, le tout sur l'ordre du chef de train en détresse.

Sur le chemin de fer d'Aix-la-Chapelle à Cologne, la demande d'une machine de secours se fait exclusivement à l'aide d'un appareil télégraphique mobile. Tous les trains en sont munis.

Leur maniement est très facile par suite de l'adoption, pour les relations des *stations principales* entre elles, du système à courant continu. La communication s'établit en interrompant le courant qui dessert les deux stations; pour le faire commodément, le fil a été posé de telle sorte que, sur toute la ligne, il passe dans l'intérieur des guérites de garde; une règle en fer, fixée par deux vis de pression, établit la jonction entre les extrémités du fil qui traverse la guérite. Quand le conducteur veut se servir de son appareil, il le transporte dans la maison d'un garde et enlève la règle en la dévissant. L'interruption du courant met immédiatement en mouvement les sonneries des deux stations voisines; le conducteur accroche aussitôt après l'appareil contre la tablette disposée à cet effet, et indique par un tour de manipulateur celle des deux stations attaquées avec laquelle il veut correspondre. Celle non interpellée reste muette en se mettant sur terre et la correspondance s'établit librement entre le conducteur et le poste désigné par lui. Quand la transmission est terminée, il donne le mot « repos », décroche son appareil et revisse la règle pour établir la communication entre les deux stations.

Le transport de l'appareil dans une maison de garde est peut-être un embarras; mais comme elles ne sont éloignées les unes des autres que de 1 kilom., le conducteur, dans les plus mauvaises conditions, a au plus un parcours de 500 mètres à faire.

Sur les chemins d'Orléans et du Nord, qui sont jusqu'ici les seuls en France où l'on emploie des appareils télégraphiques mobiles, l'installation du système est beaucoup plus compliquée: les appareils des stations de ces lignes ne fonctionnent que sous l'action de cou-

rants intermittents, il faut que les télégraphes mobiles portent avec eux leurs piles, et que le conducteur établisse chaque fois un circuit complet. C'est une opération assez compliquée : il faut dérouler le fil d'une des bobines de l'électro-aimant, l'attacher à l'extrémité d'une canne, et suspendre celle-ci au fil de la ligne, dévider ensuite le fil d'une autre bobine, attacher une des extrémités à un coin en fer, qu'on fixe entre le joint de deux rails, puis régler la tension de la palette du récepteur pour la proportionner à l'intensité du courant venant des stations.

Ces appareils présentent, outre ces complications, plusieurs inconvénients : le réglage demande une grande habitude, que les conducteurs n'acquièrent que difficilement ; les vases de la pile qui sont en verre se cassent très facilement dans le chargement et le déchargement de l'appareil ; l'entretien de la pile en sulfate de cuivre exige beaucoup de soins ; enfin, en hiver, par les grands froids, la dissolution se congèle et reste improductive.

Les appareils portatifs des chemins de fer allemands ne présentent aucun de ces inconvénients, précisément parceque les stations principales avec lesquelles ils sont appelés à correspondre sont desservies par un fil à courant continu, et non par un courant intermittent. Celui-ci circulant toujours, le conducteur le trouve tout créé, au lieu d'avoir à le produire avec une pile spéciale, comme dans le système des transmissions à courant intermittent. Il est dispensé, en outre, du soin de régler la palette de l'électro-aimant, parceque, l'intensité des courants continus étant constante, les appareils mobiles peuvent fonctionner sans embarras, en quelque point qu'on les intercale entre deux stations.

A l'occasion de la description des sonneries électriques, j'ai fait ressortir l'économie d'installation à laquelle conduit l'emploi d'appareils à courant intermittent, qui permet de n'avoir qu'un seul et même fil pour la correspondance des stations intermédiaires entre elles et le jeu des sonneries. Les détails ci-dessus conduisent à reconnaître que, pour satisfaire à d'autres conditions, le système à courant continu a

des avantages qui lui sont propres. Ce serait donc à tort qu'on donnerait la préférence exclusive à l'une ou l'autre espèce de courant ; et sous ce rapport , les Allemands, qui emploient les deux concurremment, me semblent avoir tiré un meilleur parti des ressources de la télégraphie électrique que nous, qui, sur chaque chemin, n'avons qu'un seul des deux systèmes à la fois.

Les règlements concernant les machines de secours entrent dans beaucoup de détails. Les prescriptions les plus essentielles sont les suivantes : 1^o les dépêches doivent être faites en toutes lettres et sans abréviations ; 2^o le conducteur qui a demandé du secours doit attendre l'arrivée de la machine, lors même que la cause qui a motivé la demande de secours aurait disparu ; il n'est fait exception à cette règle que pour les portions de ligne où se trouve une double voie ; 3^o aussitôt le train arrêté, les signaux doivent être faits à 900 mètres en arrière et 750 mètres en avant ; 4^o le départ de la machine doit être annoncé comme celui d'un train.

Sur le chemin de Cologne à Minden , les demandes de secours se font également avec l'appareil mobile. mais on y a conservé, dans le règlement des signaux, les prescriptions pour l'emploi, dans le même but, du télégraphe aérien. C'est une sage précaution , car, en cas d'accident, l'appareil du train pourrait se trouver être mis hors de service.

Sur les chemins qui n'ont pas d'appareils télégraphiques, les machines de secours sont demandées, de jour comme de nuit, par les mâts à signaux, dont les indications sont répétées par les gardes, de proche en proche, jusqu'à la station où se trouve un dépôt de machines ; les signaux sont maintenus par chaque gardé jusqu'à ce qu'il ait vu passer la machine. Lorsque le train se trouve arrêté dans le voisinage d'une station à poste télégraphique, la demande est faite concurremment par les mâts et le fil électrique.

6° *A quelles règles soumet-on la circulation des trains spéciaux ou extraordinaires dans l'exploitation sur une seule voie ?*

De même que les machines de secours ne peuvent se mettre en marche que sur un ordre, de même les trains spéciaux ou extraordinaires ne peuvent circuler sans avoir été annoncés ou par les trains, ou par le télégraphe. Autant que possible, ils le sont par les deux moyens à la fois. Les trains peuvent signaler non seulement un convoi qui suivrait la même direction, mais ils peuvent même annoncer un train spécial attendu dans la direction opposée à celle qu'ils suivent.

Sur les chemins Rhénan et de Cologne à Minden, on place, *dans le premier cas*, un drapeau le jour et une lanterne à feu vert la nuit, à l'angle de la dernière voiture du train ; lorsqu'on veut annoncer un train spécial venant en sens contraire, le drapeau ou la lanterne se mettent en avant sur la machine ou le tender.

L'expédition d'un train spécial ou extraordinaire peut donc toujours avoir lieu de jour et de nuit. Le règlement de police, en Prusse, a fixé l'intervalle à laisser entre deux trains consécutifs : il est de 10 minutes pour deux trains de même nature, de 5 minutes pour un train omnibus ou de marchandises suivant un train direct. En marche, les trains doivent toujours se tenir à un intervalle de 1,000 mètres au moins.

Telles sont les règles qui régissent, en Allemagne, l'exploitation des chemins à simple voie. Pour ne pas fatiguer l'attention, j'ai évité d'énumérer les signes conventionnels des mâts aériens, qui diffèrent d'une ligne à l'autre, ou à peu près.

7° *Arrive-t-il souvent que le télégraphe électrique éprouve des perturbations ? A quelles causes ces perturbations sont-elles dues ? Quelles mesures prend-on pour assurer le service quand elles ont lieu ?*

En général, le service est organisé de telle sorte que les télégra-

phes aériens et les télégraphes électriques se prêtent un mutuel concours, et, dans certains cas, suppléent les uns aux autres : c'est une garantie contre certaines perturbations dans leurs services. Celles qui peuvent s'opposer à l'action des télégraphes aériens sont, comme je l'ai dit, la neige, le brouillard et le vent.

Les causes d'interruption dans les transmissions électriques sont plus nombreuses et plus variées ; les unes sont locales, et dues tantôt à des dérangements dans les appareils ou à des pertes de courants, tantôt à l'insuffisance momentanée ou au mauvais état d'entretien des piles.

Les influences atmosphériques provoquent des dérangements d'une autre espèce en faisant varier les conditions d'isolement des fils et en développant des courants qui paralysent celui de la batterie. Les fils peuvent, en outre, être rompus par la malveillance, par un abaissement brusque de température, ou par les efforts continuels de tension ou de torsion qui les sollicitent ; enfin, les poteaux eux-mêmes peuvent être renversés, et tous ces accidents sont de nature à interrompre momentanément les transmissions.

En général, il suffit de quelques heures pour rétablir le service régulier. On remédie aux perturbations locales par les appareils de rechange, dont toutes les gares importantes sont pourvues, et par le renouvellement de fils conducteurs des postes. Les influences atmosphériques disparaissent avec les causes momentanées qui les ont produites, et qui ne se répètent pas plus de 12 à 15 fois par an ; enfin, on pare aux accidents qui peuvent survenir aux fils et aux poteaux par une surveillance continue, d'autant plus facile que le personnel de la voie est très considérable sur les chemins d'Allemagne.

On a cherché à se soustraire, à l'aide de conducteurs souterrains, aux inconvénients résultant d'influences atmosphériques ou d'accidents, et à remédier, par l'emploi de courants continus, aux variations dans les transmissions qu'on reproche aux courants intermittents.

Jusqu'ici aucun des systèmes adoptés n'a donné des résultats complètement satisfaisants.

Les conducteurs souterrains présentent, au premier abord, de séduisants avantages. La malveillance, les orages, le froid, le vent, les déraillements, ne peuvent exercer leur action destructive sur des fils enterrés sous le sol. Mais la condition essentielle, la condition difficile à remplir, est de trouver un enduit qui mette les fils souterrains complètement à l'abri de l'humidité du sol, qui soit inattaquable aux vers rongeurs, une substance, en un mot, qui puisse conserver indéfiniment ses propriétés isolantes. La gutta-percha a été employée sur une grande échelle, en Prusse, comme enveloppe des fils. Malheureusement cette matière, sur laquelle on avait fondé tant d'espérance, ne parait pas avoir répondu à l'attente publique, car aucune compagnie de chemin de fer n'a suivi l'état dans la voie de ses essais, et l'état lui-même préfère aujourd'hui les suspensions aériennes. On a constaté des pertes de courant de 20 à 25 pour 100 sur des parcours de 200 kil. seulement. Cet insuccès tient à une fabrication imparfaite et à des difficultés de pose. On comprend que, pour enduire des fils de fer de 200 à 300 mètres de longueur chacun, il soit presque impossible d'arriver à un mélange uniforme et à un centrage parfait; d'autre part, il n'est pas moins difficile de faire manier assez délicatement de nombreux paquets de fils sans produire des lésions et des écorchures, si je puis employer ce terme, qui constituent chacune une issue par laquelle le courant s'échappe, et dont la recherche, une fois le fil enterré, est une longue et difficile opération. C'est elle qui a jeté dans un découragement complet ceux-là même qui avaient secondé le plus les efforts de l'inventeur. Un jour peut-être arrivera-t-on à combattre avec succès ces imperfections.

La pose souterraine a deux autres inconvénients : elle coûte beaucoup plus cher que la suspension aérienne, et elle donne lieu à de très grands embarras lorsque, par suite du développement des relations télégraphiques, on veut augmenter le nombre des fils, comme en Prusse, par exemple, où on a passé successivement d'un seul fil à cinq, six et au delà.

C'est tout un travail, car il faut faire des tranchées avec la pioche

d'une extrémité de la ligne à l'autre, et; quelque soin qu'on prenne en faisant les fouilles, on endommage toujours quelques uns des fils déjà posés. Aussi a-t-on préféré plusieurs fois, malgré une augmentation considérable de dépenses, renoncer aux travaux déjà faits et creuser de nouvelles voies souterraines. Avec les poteaux, les additions de fils se font sans embarras et sans autre limite que la résistance ou la hauteur même des supports.

Les courants continus avec fils en l'air ne remédient pas non plus aux inconvénients des déperditions reprochées aux courants intermittents; ils permettent à celui qui transmet une dépêche de la suivre lettre à lettre sur son propre récepteur, et d'avoir ainsi un contrôle immédiat de l'arrivée à destination. Mais cette garantie pourrait n'être qu'illusoire dans certains cas, car le récepteur peut fonctionner, et néanmoins, par suite d'un isolement imparfait, le courant se perdre par un poteau intermédiaire.

En résumé, tant qu'on n'aura pas trouvé le moyen d'éviter les déperditions de courant dans des voies souterraines, il vaut mieux se servir des fils aériens, et, avec ce système, ne donner de préférence exclusive ni au courant intermittent, ni au courant continu, mais se servir des deux : du premier pour les relations des stations intermédiaires entre elles, et du second pour celles des gares à dépôt de machines, parcequ'il se prête à un emploi facile des appareils télégraphiques mobiles.

8° *Fait-on usage, pour l'exploitation à une seule voie, d'un système consistant à faire accompagner tous les trains entre les points de croisement par un pilote, ou à les faire remorquer par une machine-pilote qui revient ensuite au point de départ?*

Cette note n'étant destinée qu'à être une relation raisonnée du système d'exploitation suivi en Allemagne, son cadre ne comporte pas la discussion de procédés qui n'ont pas reçu et ne recevront jamais d'application, tel que celui de faire accompagner tous les trains en-

tre les points de croisement par un pilote, ou à les faire remorquer par une machine-pilote, qui reviendrait ensuite au point de départ.

Tous les hommes pratiques savent, en effet, qu'adopter ce système comme base d'une exploitation permanente et sérieuse, ce serait vouloir rendre tout service impossible.

La première conséquence de ce principe serait de priver de la ressource de modifier le croisement des trains, d'imposer, par suite, l'obligation de rendre les trains solidaires les uns des autres, de faire supporter à tous le retard d'un seul, et cela non seulement dans le courant d'une journée, mais en empiétant indéfiniment d'un jour sur l'autre, pour peu que le chemin fût de quelque importance. Ce sont là les inconvénients saillants, mais non les seuls; l'expédition des trains spéciaux, le déplacement des machines de secours, éprouvent avec ce système des difficultés sans nombre, sinon des impossibilités absolues.

L'emploi d'une machine-pilote comme variante, loin d'être une mesure de sécurité, constituerait une cause d'aggravation de danger; il imposerait des charges tellement onéreuses, par suite du nombre de locomotives à avoir en jeu, qu'on aurait évidemment avantage et économie à faire le sacrifice de la dépense d'une seconde voie. Le pilotage, avec une machine en double, n'est admissible que quand on veut parer aux éventualités des demandes de secours; au début d'une exploitation, par exemple, comme au chemin du Nord, où l'on a pratiqué ce système en 1846, lorsque le service a dû être organisé temporairement pendant quelques mois sur une voie unique entre Amiens et Arras. Mais alors, au lieu de renvoyer les machines-pilotes à vide, on avait établi la correspondance des trains de telle sorte qu'il y avait roulement régulier entre les locomotives pour que toutes remorquassent en double les convois. Mais, comme je l'ai déjà dit, cette mesure avait été prise, non dans un but de sécurité, mais de régularité de service.

9° *Quelles mesures prend-on lorsqu'il y a nécessité, pour cause de réparation, d'exploiter momentanément une partie de la ligne sur une seule voie ?*

Ce pilotage, sous une forme ou sous une autre, qui a eu récemment les honneurs d'une enquête sérieuse, n'est pas d'ailleurs une innovation : depuis de longues années le système de faire accompagner tous les trains par un seul et même agent est appliqué comme *expédient* sur des chemins à deux voies, quand, par suite d'encombrement ou de réparation, le service des trains doit momentanément s'effectuer sur une voie unique. Il rend alors d'utiles services, parce que, restreint à un très petit parcours, qui se trouve desservi à ses deux extrémités par des aiguilles de passage de voie, on peut facilement arriver à faire passer tous les trains sur la voie unique dans l'ordre où ils se présentent aux aiguilles.

Voici comment, sur le chemin de fer du Nord, on a rédigé les règles à suivre dans ce cas :

« Lorsque, par suite d'accident, de réparation, ou de toute autre cause, la circulation des trains devra momentanément s'effectuer sur une seule voie, le service ne pourra être commencé qu'après qu'un employé aura été placé à l'aiguille la plus proche en avant, qu'un autre aura été posté à celle la plus voisine à l'arrière, et que ces deux employés auront reçu et compris l'ordre écrit de ne laisser engager aucun train dans la voie unique laissée libre à la circulation sans que l'agent qui prendra seul et sous sa responsabilité la direction des trains sur la voie unique ne soit présent sur l'emplacement de l'aiguille. Si plusieurs trains doivent être expédiés successivement dans une même direction, c'est dans le dernier des trains successifs que l'agent devra monter pour se porter à l'aiguille opposée. Les signaux d'arrêt devront être faits à 700 mètres en avant de chacune des aiguilles. »

Ici se termine cette note. Je crois avoir répondu à toutes les ques-

tions posées dans le programme d'enquête concernant l'exploitation à simple voie. Les administrations allemandes n'ont pas la prétention d'avoir résolu d'une manière définitive toutes les questions qui se rattachent à ce service. Je n'ai pas non plus la prétention d'indiquer l'Allemagne comme modèle absolu aux lignes à simple voie qui seront livrées à la circulation en France; je me suis donné un rôle beaucoup plus modeste, celui de simple narrateur, n'ayant d'autre but que de démontrer qu'une exploitation assez importante peut être faite avec sécurité sur des chemins à une voie.

Note sur la théorie du drainage,

INFLUENCE DE L'EAU SUR LA TEMPÉRATURE DES TERRES.
QUANTITÉ D'EAU FOURNIE PAR LA PLUIE, ET DE SON ÉCOULEMENT
PAR LES DRAINS.

PAR J. PARKES.

TRADUIT PAR MM. HUET ET GEYLER, ingénieurs.

INTRODUCTION.

L'examen des propriétés physiques qui caractérisent les terrains divers, et en particulier la recherche des causes qui influent sur leur état de chaleur ou d'humidité, ont une importance que n'ont pas manqué d'apercevoir certains agriculteurs; mais aucun expérimentateur, soit parmi ceux qui s'occupent de la science agricole, soit parmi les agriculteurs pratiques, n'a fait de ces questions l'objet d'une étude suivie. M. Hardley, dans une lettre écrite au comte Spencer avant la formation de la Société royale d'agriculture d'Angleterre, a cité divers phénomènes qui ne nous étaient connus, il faut l'avouer, que d'une manière très imparfaite, et il a signalé, comme devant être rangé aujourd'hui encore au nombre des mystères de la nature le mode d'action propre à plusieurs de ses agents les plus énergiques. Il y a, selon lui, une série d'expériences utiles à tenter : 1° sur la température de la terre à sa surface et aux diverses profondeurs accessibles au cultivateur; 2° sur les influences propres à la chaleur, à l'air, à la lumière, et sur les profondeurs qui limitent l'action de ces agents, points au delà desquels cesse le phénomène de la germination; 3° sur les effets produits par les cultures différentes au point de vue de l'excitation des facultés du sol, à l'absorption et à la conservation du calorique; 5° sur le mode d'action des forces capillaires et sur la mesure de leur intensité.

Tous ces points, jusqu'à ce jour beaucoup trop négligés, ont une importance extrême dans le phénomène si complexe de la végétation, et chacun des éléments que je viens d'indiquer contribue d'une manière active au prompt développement, à la parfaite maturité des végétaux. Leur étude approfondie ne serait donc ni moins intéressante, ni moins fertile peut-être en résultats pratiques, que ces travaux de la science poursuivis avec tant d'ardeur et de persévérance dans le but de déduire l'intensité de la chaleur centrale d'une suite d'expériences destinées à montrer que la température du globe croît en raison de la profondeur.

Je ne saurais avoir la prétention de posséder le talent ni les connaissances nécessaires pour combler les lacunes de la science de l'agriculture. Si donc les observations, imparfaites sans doute, que je vais rapporter, ont pour résultat d'agrandir les vides à combler en les montrant plus vastes encore que ne l'indiquait l'énumération empruntée à M. Hardley, j'aurai du moins pu exprimer la conviction intime que le sujet qu'elles embrassent ne présente aucun obstacle vraiment sérieux à tout homme qui, possesseur d'un morceau de terre et du loisir suffisant, voudrait tenter d'explorer ce champ d'observations vierge encore. Heureux si je parviens à faire comprendre, au contraire, que de telles recherches seront une bonne semence jetée en terre promise, et que la moisson ne peut manquer d'être belle.

Avant d'entrer dans le détail des expériences peu nombreuses faites par moi-même autant que par d'autres personnes, sur la température des sols, il convient d'examiner quelques unes des opérations du cultivateur, leur but et l'influence qu'elles peuvent exercer relativement à la chaleur et à l'humidité propres du sol auquel on les applique. Le drainage et l'ameublissement des terres (1) sont les

(1) Le terme *drainage* doit être pris ici dans un sens large et étendu ; il ne faut donc pas en limiter le sens à la construction de conduits artificiels destinés à écouler les eaux, l'appliquer seulement et exclusivement aux terrains évidemment humides. Le bêchage, les labours, les façons diverses que l'on applique aux terrains

deux principaux procédés d'amélioration agricole qui peuvent développer la fertilité d'une terre, au moins autant peut être que ces éléments artificiels que l'on emploie aujourd'hui d'une manière si savante et si fructueuse à la fois. La pratique démontre que ces opérations mécaniques sont indispensables pour le complet développement des puissances naturelles du sol, aussi bien que pour rendre fructueux et profitable l'emploi des stimulants nombreux et dispendieux récemment introduits en agriculture. Je me propose donc de faire voir, d'une part, que la perfection de ces deux procédés exerce une influence directe et matérielle sur la température de tous les sols en général; d'autre part, que chaque nature de sol, considérée en particulier, sera améliorée par ces moyens en raison du degré selon lequel il demande à être drainé ou travaillé.

On a dit avec raison que « tous ceux auxquels sont familiers les perfectionnements agricoles sont d'accord aujourd'hui pour admettre que sur les terres humides le *drainage* est à une ferme ce que sont les *fondations* par rapport à une construction . » L'eau forme, il est vrai, l'un des éléments essentiels au sol, mais il peut exister, sous le rapport de la fertilité, autant de différence entre une terre *mouillée* et une terre *humide*, quelque identiques qu'elles puissent être sous tout autre rapport, qu'entre un marais et un jardin. Le drainage et l'ameublissement ont donc pour effet de donner aux sols, quels qu'ils soient, le degré d'humidité convenable; et, bien qu'il soit sagement ordonné que nous ne puissions contrôler la chute de la pluie, nous possédons du moins le pouvoir de régler, dans de certaines limites, la quantité d'humidité que doit retenir la terre, de la répartir, de l'ajuster, pour ainsi dire, relativement à la qualité du sol et selon les besoins de la végétation.

que l'on peut considérer comme secs en eux-mêmes, ne sont en réalité autre chose qu'un drainage destiné à ouvrir à l'eau des issues ou canaux.

CHAPITRE I.

ACTION PHYSIQUE DE L'EAU.

Lorsque l'on considère les effets bien connus du drainage sur les terrains humides, on est conduit naturellement à rechercher les causes des modifications qui résultent d'une opération aussi simple. Un sol complètement privé d'eau, une terre complètement mouillée, c'est-à-dire constamment abreuvée d'eau, seraient également stériles à peu près au même point, et l'on conçoit qu'il doit exister des proportions déterminées entre les quantités relatives de chaleur et d'humidité qui leur sont propres, desquelles doit résulter pour un sol donné, dans une latitude déterminée, un état maximum de fertilité. Les recherches de plusieurs savants ont établi les lois suivant lesquelles l'eau se comporte à l'état liquide ou solide, ou à l'état de fluide élastique ou vapeur. Il n'y a sans doute pas de substance naturelle qui ait été étudiée avec un plus grand succès, et peut-être l'eau est-elle l'élément qui joue le rôle le plus important et le plus varié dans son action sur le sol et dans l'économie de la végétation.

Il peut rester quelque chose encore à découvrir dans les rapports chimiques qui existent entre l'eau et les éléments constitutifs du sol, solides, salins ou gazeux; mais les propriétés physiques de l'eau relativement à la température, à son rôle comme dissolvant, à ses lois mécaniques, ont été assez complètement étudiées et déterminées pour que nous puissions comprendre et expliquer d'une manière satisfaisante l'action bienfaisante et variée du drainage sur les terrains humides.

Les plantes les plus utiles ne peuvent prospérer dans une terre saturée d'eau; elles végètent plus ou moins imparfaitement tant que la proportion d'eau n'a pas été réduite au point qui convient à leurs habitudes. Or cette réduction de l'eau en excès aux proportions voulues ne peut s'effectuer naturellement que par l'évaporation gra-

duelle, c'est-à-dire par la transformation spontanée de l'eau liquide en fluide élastique ; mais ce passage de l'état liquide à l'état gazeux, pour avoir lieu, doit emprunter des quantités de chaleur tellement considérables au sol lui-même, qu'il doit être à propos de considérer d'abord l'action de l'eau à cet égard, et d'essayer d'en apprécier l'importance.

On sait que, si l'on expose à la chaleur d'un foyer un vase ouvert contenant de l'eau, la température du liquide ne dépassera pas 100° cent. sous la pression atmosphérique ordinaire de 0^m.76 de mercure. La température du liquide reste alors stationnaire, toute la quantité de chaleur fournie par le foyer étant alors dépensée pour convertir l'eau en vapeur. La température de la vapeur produite reste permanente et précisément égale à celle de l'eau. On a constaté d'ailleurs que la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer un volume donné d'eau est égale à 6 fois environ celle qui serait employée pour élever ce même volume de 10° c. à 100 (LOI DE SOUTHERN). On conclut de là que la différence, ou $90 \times 6 = 540^\circ$ de chaleur, ont passé à travers l'eau et sont entrés dans la composition de chaque atome de vapeur ; en conséquence, la vapeur d'eau a une capacité calorifique bien plus grande que celle de l'eau. Ces accessions continuelles de chaleur sont absorbées par la vapeur dans l'acte de sa formation, et deviennent ce qu'on appelle *latentes*, c'est-à-dire insensibles au thermomètre, qui, plongé dans la vapeur, persiste à indiquer la température de l'eau qui l'a engendrée, soit 100° cent. C'est ce que l'on appelle chaleur *sensible* ou *thermométrique* de la vapeur. Si l'on condense un poids donné de vapeur, on trouve que 1 kilogr. de vapeur élèvera environ 6 kilogr. d'eau de 10° au point d'ébullition ; et l'on prouve ainsi ce qui précède.

L'eau exposée à l'air libre est vaporisable à toutes les températures ; aidée de circonstances favorables, elle conserve même cette propriété dans une atmosphère fortement chargée d'humidité. Il est très important de remarquer que, quelque basse que soit la température de l'eau ou celle de l'atmosphère ambiante, *un même poids*

d'eau, pour passer de l'état liquide à l'état de vapeur, absorbera toujours autant de chaleur que si cette vapeur était directement engendrée par le liquide placé dans un vase ouvert ou dans une chaudière à haute pression et soumise à l'action du feu. On démontre par l'expérience l'exactitude de cette loi en évaporant le liquide sous différentes pressions, et l'on constate que, pour des volumes égaux d'eau évaporée, on brûle toujours des volumes égaux de combustible, c'est-à-dire qu'il faut dans tous les cas produire des quantités égales de calories. Or il faut, pour vaporiser 1 kilogr. d'eau 130 gr. à 200 gr. de charbon. Qu'on juge donc de l'énorme quantité de chaleur dérobée au sol par l'évaporation continuelle de l'eau qui y séjourne ! La chaleur étant un corps impondérable, la physique ne nous a encore indiqué aucun moyen pour mesurer directement ce que l'eau, par sa vaporisation, enlève de chaleur au sol. Cependant, à l'aide d'un raisonnement dont les ingénieurs se servent fréquemment en pareil cas, il nous sera facile de rendre ce fait plus saisissant, plus évident, à l'esprit de tout cultivateur intelligent.

Supposons que pendant l'année il soit tombé sur la surface d'un hectare de terre une hauteur de 0^m.75 d'eau, soit 7,500 mètres cubes donnant un poids de 7,500 tonnes, ce qui donne par mois 625 tonnes, ou enfin par jour 20 tonnes. Or, pour évaporer ce poids d'eau en 24 heures, il faudrait 24 quintaux de charbon, c'est-à-dire 1 QUINTAL PAR HEURE ET PAR HECTARE, *et cela pendant l'année entière* Cet exemple donne une idée bien nette de l'énorme quantité de chaleur dont le sol est ainsi privé par la présence des eaux stagnantes, et malheureusement un grand nombre de terres subissent cette influence malfaisante et désastreuse. De ce qui vient d'être dit, on peut tirer encore cette conclusion, que, par suite de ce phénomène continuel d'évaporation, la température terrestre doit être considérablement abaissée; que cet abaissement de température est proportionnel à l'excès d'eau inutile à la végétation Une terre dans ces conditions est nécessairement plus froide pendant les mois de printemps, au moment où la végétation commence, et surtout pendant

l'été, alors que l'évaporation est active, qu'une terre naturellement très sèche ou complètement asséchée par un bon drainage. Si nous connaissions la puissance calorifique d'un sol donné et l'eau qu'il contient en plus de la quantité nécessaire à la végétation, il serait facile de déterminer très approximativement l'abaissement de température causé par cet excès d'humidité. En effet, nous savons que la chaleur de 1 kilogr. d'eau vaporisée suffit pour élever de 1° environ 600 litres d'eau : donc, si les chaleurs spécifiques des corps solides ou liquides composant le sol étaient toutes égales, l'évaporation de 1 kil. d'eau abaisserait de 1° la température de 600 kilogr. de terre, de 2° celle de 300 kilogr., et ainsi de suite (1).

2° L'humidité en excès empêche encore l'absorption de la chaleur par les particules solides qui entrent dans la composition du sol : car, l'eau en repos étant le corps le plus mauvais conducteur connu, quand sa surface est échauffée, elle ne transmet point de chaleur dans les couches inférieures du sol, et elle s'empare, au détriment de celui-ci, de toute la chaleur émise par les rayons solaires.

En effet, si l'on échauffe une masse d'eau par la partie inférieure, la masse entière acquerra bientôt une température uniforme : car la couche inférieure une fois échauffée diminue de densité; les molécules qui la composent montent alors à la surface, déplaçant des molécules plus froides, qui, en raison de leur plus grande densité, arrivent à leur tour à la partie inférieure, où elles subissent l'action directe de la chaleur. Cette différence continuelle de densité entre les différentes couches liquides superposées établit une circulation rapide qui distribue la chaleur dans la masse entière, et l'y répand également. Mais au contraire si la masse liquide reçoit l'action de la chaleur par en haut, la couche superficielle seule est alors échauffée, et, la densité diminuant, elle tend à plus forte raison à surnager

(1) Nous ferons remarquer qu'il y a ici exagération dans ce raisonnement car les matières solides composant le sol ont une chaleur spécifique de 0.20 environ. De telle sorte que, si l'on veut néanmoins tenir compte de l'eau qui y reste mélangée, on est encore fort loin du résultat donné par l'auteur. H. et G.

le liquide ; aucune circulation n'a lieu, toutes les molécules restent en repos, et la chaleur n'est pas distribuée dans la masse. C'est ce dernier phénomène qui a lieu dans un sol abreuvé d'eau, et la chaleur solaire est nulle pour lui et ne lui profite en rien.

3° Tous les corps de la nature, à quelque état qu'ils se présentent, ont un pouvoir rayonnant plus ou moins grand, c'est-à-dire qu'ils abandonnent ou émettent leur chaleur pour se refroidir plus ou moins rapidement. D'après Leslie, et cette opinion est partagée par beaucoup de savants, l'eau jouit de cette propriété au plus haut point, et doit être placée à la tête des substances rayonnantes.

Ces phénomènes de refroidissement par rayonnement et évaporation sont rendus parfaitement sensibles à l'aide d'une expérience bien simple et bien connue, qui consiste à exposer à l'action de l'air, par un jour de gelée piquante, de l'eau dans une soucoupe, à une température assez chaude pour émettre visiblement de la vapeur ; dans une autre soucoupe, au contraire, plaçant une quantité égale d'eau plus froide, provenant, par exemple, d'un puits, on remarque que l'eau chaude sera congelée la première (1). L'ordre dans lequel s'est effectuée la congélation dans les deux vases sert parfaitement à comparer la différence de l'intensité du froid produit par évaporation et rayonnement combinés d'une part, et par rayonnement seulement de l'autre ; mais, dans le premier cas, il a été émis une quantité de chaleur beaucoup plus grande que dans l'autre.

4° L'eau qui subit l'influence de toutes les variations atmosphériques se refroidit généralement pendant la nuit. Toutes les fois donc que le refroidissement a lieu, la couche superficielle en est la première affectée ; en conséquence, sa densité augmente, et les molécules qui la composent tendent à gagner des régions plus profondes, et sont nécessairement remplacées par des molécules plus chaudes, alors moins denses, provenant des couches inférieures ; celles-ci, arrivées à la surface, se refroidissent à leur tour, et regagnent le fond.

(1) De l'eau bouillante jetée à terre se congèlera plus vite que de l'eau froide.

Ce mouvement de va et vient qui s'établit dans la masse liquide pourrait, aidé de circonstances favorables, se prolonger ainsi jusqu'à ce que le volume du liquide se fut abaissé à la température de 4°, point de la densité maximum de l'eau. Ainsi, l'eau, que nous avons vu plus haut être un très mauvais véhicule de la chaleur pour la distribuer de haut en bas, devient un excellent moyen de transport pour distribuer le froid dans cette même direction.

Tous les sols contenant un excès d'eau sont donc soumis à l'influence pernicieuse du refroidissement, tandis qu'au contraire, dans un terrain naturellement sec, ou rendu tel artificiellement par le drainage, l'eau devient un agent utile pour aider à la transmission de la chaleur en profondeur.

Il reste donc démontré que l'eau en excès engendre un *abaissement de température* très nuisible à la végétation ; que les causes de ce refroidissement, dû à divers phénomènes indépendants les uns des autres, sont actives et incessantes.

D'un autre côté, il reste acquis que dans un sol naturellement poreux ou artificiellement rendu tel par un drainage bien entendu l'eau des pluies exerce une influence bienfaisante ; elle devient une source féconde de chaleur qui tend d'une manière permanente à élever la température de ce sol, cette élévation de température ayant lieu plus particulièrement au moment où la végétation s'accomplit, alors que ces avantages sont tant à désirer. A cette époque, en effet, l'eau des pluies, pénétrant dans le sous-sol, abandonne à toutes les molécules du terrain qu'elle traverse en s'infiltrant vers les drains toute la chaleur dont elle est chargée, puis elle s'écoule, laissant la terre toute disposée à recevoir de nouvelles et bienfaisantes pluies, qui apportent non seulement la chaleur, mais servent aussi de véhicules à d'abondantes matières stimulantes et fertilisantes puisées dans l'atmosphère, ce grand réservoir de richesses et de fécondité. Mais nous devons nous arrêter ici, car il n'entre pas dans notre plan d'étudier les effets chimiques produits par la circulation continue dans le sol de l'eau de pluie et de l'air.

Pour obtenir un renouvellement complet en même temps qu'une distribution uniforme de l'eau qui traverse un champ, les drains doivent être couverts et placés à un niveau inférieur à la profondeur que peut atteindre la partie active ou terre végétale de ce sol : car, si l'on emploie seulement des fossés à ciel ouvert, alors elle ne communiquera pas aux couches arables inférieures la chaleur dont elle est pourvue, mais elle entraînera mécaniquement toutes les particules ou matières fertilisantes répandues sur le terrain. Si les drains, quoique couverts, sont peu profonds, c'est-à-dire ne pénètrent que le terrain meuble, un autre inconvénient aura lieu : l'eau, arrivée au sous-sol, y séjournera, et refroidira par sa présence la terre subjacente et les racines des plantes qui y vivent.

Les jardiniers et les fleuristes connaissent du reste parfaitement l'influence nuisible qu'exerce l'eau versée dans les récipients que l'on a l'habitude de placer sous les pots de fleurs. Eh bien, l'eau de fond, comme on l'appelle avec juste raison, produit dans la culture en grand les mêmes effets pernicieux et malfaisants quand elle séjourne trop long-temps à une profondeur trop voisine des régions où s'accomplissent les phénomènes de la végétation.

Un drainage incomplet, c'est-à-dire superficiel, a peu de valeur, et rien n'est plus vicieux à mon avis que ce mode de culture par ados et billons. Quand une terre est constamment soumise à ce système de culture, les crêtes des sillons ne peuvent retirer qu'un avantage bien minime de l'action bienfaisante des eaux de pluie. L'état des récoltes obtenues sur des terres ainsi façonnées démontre jusqu'à l'évidence la différence énorme qui existe entre la chaleur et l'assèchement des crêtes des sillons et l'humidité dangereuse délétère et le froid excessif du pied de ces mêmes sillons (1).

(1) Il serait curieux, mais plus curieux qu'utile, de rechercher l'origine de ce singulier système de culture, qui est, je le suppose, spécial à l'Angleterre, et à certains comtés en particulier. On serait tenté de croire qu'il a dû prendre naissance et se propager quand on ignorait encore cette propriété qu'à l'eau d'être appelée par des tranchées et d'y trouver un écoulement. Il est possible aussi que l'inven-

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA MATIÈRE TERREUSE.

Le drainage et l'ameublissement exercent sur la température d'un sol donné une influence dépendant de la composition et des propriétés des différents corps liquides ou solides qui constituent ce sol ou qui s'y trouvent mélangés.

L'immense variété de substances qui entrent dans cette composition, leur structure particulière, leur état de division, les dimensions variées de leurs particules, leur couleur, leurs pouvoirs respectifs d'absorption, de conductibilité ou de radiation par rapport à la chaleur, enfin leur porosité, sont autant de causes diverses dont il est nécessaire de tenir compte pour déterminer *a priori* la température du sol donné, et ces propriétés nombreuses sont tout à fait indépendantes des conditions de latitude et de localité. Les chimistes ont bien déterminé la chaleur spécifique et l'énergie des pouvoirs absorbants ou rayonnants de divers éléments terreux, ainsi que de beaucoup de corps solubles ou insolubles, quand ces différents corps sont isolément soumis à l'observation; mais nous n'avons que peu ou point de données sur ces mêmes propriétés rapportées au mélange si complexe de ces substances tel que la nature nous l'offre.

C'est dans cette direction qu'il faut chercher désormais de nouveaux renseignements: c'est dans cette voie qu'à l'avenir les hommes pra-

teur, considérant l'eau des pluies comme son ennemi le plus à craindre, ait voulu s'en débarrasser au plus vite en évitant son infiltration dans le sol. Me trouvant un jour avec quelques fermiers du Cheshire, je leur demandai quelle était l'utilité de ce procédé. On me répondit qu'on obtenait ainsi une surface ondulante plus grande que la surface plane, et qu'en conséquence on devait récolter sur l'une plus que sur l'autre. Cette réponse semblait rationnelle de prime abord; mais je la traitai de sophisme. La question fut alors tranchée par un vote. Mon opinion eut une voix de minorité.

tiques devront diriger leurs observations. Il n'est point à dire pour cela qu'il faille dédaigner les travaux du laboratoire, car c'est à ces études que nous devons d'être aujourd'hui si complètement initiés à la connaissance des phénomènes qui sont propres à l'eau, et les laborieuses recherches du cabinet viennent toujours considérablement en aide à l'expérimentateur qui prend *pour laboratoire le vaste champ de la nature*.

Deux illustres savants anglais ont étudié l'affinité pour l'eau et la chaleur de différents corps entrant comme éléments constitutifs dans la composition du sol arable. Je vais citer quelques uns des résultats de leurs recherches laborieuses.

Leslie, ce savant professeur qui a si largement contribué aux connaissances que nous possédons sur les phénomènes de chaleur et d'humidité, s'exprime ainsi en nous initiant aux résultats de ses recherches sur les propriétés hygrométriques de quelques substances terreuses :

« Les substances absorbantes, indépendamment du liquide qu'elles s'assimilent par contact, peuvent encore attirer, avec une énergie plus ou moins grande, l'humidité de l'atmosphère. Les matières les plus dures aussi bien que les plus tendres jouissent de cette propriété, qui est exactement analogue à celle des acides concentrés et des sels déliquescents. Le degré d'affinité pour l'humidité des corps variés qui concourent à la formation du sol suffit pour indiquer les différences essentielles de leur composition. Pour constater ces propriétés, il convient de dessécher la substance pulvérisée en l'exposant à l'action d'un feu très vif, de manière à presque la griller, puis de l'introduire immédiatement dans un flacon hermétiquement bouché. Cette opération préliminaire a pour simple but de préparer la substance, en lui enlevant par incinération, toute son eau d'absorption. Lorsque l'on voudra opérer sur la substance, il suffira alors de jeter tout ou partie de cette poudre dans un grand flacon à large tubulure, qui sera bouché jusqu'à ce que la substance ait absorbé sa part de l'eau hygrométrique de l'air renfermé; si alors on

introduit dans le vase un hygromètre sensible, on aura la mesure de l'effet produit par l'absorption. »

	Degré d'humidité absolue de l'air à environ 16.
Argile fortement torréfiée.	8
Silice.	19
Whinsthone	23
Carbonate de strontiane.	23
Id. de baryte.	32
Argile fortement grillée.	35
Silice trempée dans l'eau et séchée après une forte torréfaction.	35
Silice dans son état naturel.	40
Carbonate de chaux.	70
Sable marin coquillager	70
Carbonate de magnésie.	75
Sable marin d'un parc à moutons.	78
Whinsthone dans son état naturel.	80
Alumine.	84
Terre de pipe.	85
Sable de mer cultivé.	85
Whinsthone dans l'état de miettes.	86
Id. réduite à l'état de terreau.	92
Terreau des jardins.	95

Leslie fait observer que les propriétés hygrométriques des terres dépendant autant de leur état mécanique que de leur composition, tout ce qui tend à les durcir diminue leur action, ce qui tend à faire croire que c'est à l'effet produit par le feu qu'il faut attribuer la perte de leur qualité desséchante (1).

L'utilité de ces observations pour l'étude théorique des sols conduit à cette remarque, qu'il est étonnant que l'ingénieur observateur

(1) Leslie, *De la chaleur et de l'humidité*, pages 96. 1818,

ait complètement oublié de comparer ces mêmes substances quant à l'absorption de la chaleur. L'importance de ce double rapport n'a heureusement point échappé à la sagacité de Davy, qui précéda Leslie dans ses recherches; ses remarques sont si pleines de justesse et ont une valeur si réelle, que je crois pouvoir les citer sans crainte d'ennuier mon lecteur.

« Beaucoup de sols sont vulgairement désignés comme *froids*; cette expression qui pourrait sembler tout d'abord être le résultat de préventions, est en réalité parfaitement juste.

» Toutes circonstances égales d'ailleurs, il est des sols qui s'échauffent aux rayons solaires beaucoup plus facilement que d'autres, de même qu'étant amenés à la même température, ils subissent aussi un refroidissement plus ou moins rapide.

» Ces propriétés, dont on s'est peu occupé, sont pourtant, en agriculture, de la plus haute importance. En général, un sol riche en argile blanche s'échauffe difficilement, et s'il s'échauffe il perd rapidement sa chaleur à cause de son état habituel d'humidité. Les *sols crayeux* sont dans les mêmes conditions sous le rapport de la difficulté d'échauffement; mais une fois échauffé, comme ils sont plus secs que les premiers, le refroidissement s'y opère plus lentement, puisqu'il y a une dépense moins grande de chaleur employée à l'état latent pour évaporer leur humidité.

» Un sol noir contenant beaucoup de matière végétale tendre est celui qui s'échauffe le plus à l'action du soleil et de l'air en général; les sols de couleur sombre et ceux qui contiennent des matières carbonées ou ferrugineuses s'échaufferont au contact du soleil beaucoup plus rapidement que des sols de couleur claire, en les supposant, bien entendu, soumis à l'action des mêmes influences.

» Quand les sols sont parfaitement secs, ceux qui s'échauffent le plus rapidement par la radiation solaire sont aussi ceux qui se refroidissent le plus promptement à cause de leur grand pouvoir émissif; mais j'ai constaté, par expérience, que le sol le plus foncé en couleur (celui qui contient en abondance la matière animale ou végétale, substan-

...s qui aident si facilement à la déperdition de chaleur), à température égale, quand cette température toutefois reste dans les limites ordinaires de l'effet produit par le soleil, se refroidira plus lentement qu'un sol humide entièrement composé de matières minérales terreuses.

» J'ai trouvé que la température d'une terre noire et riche, contenant un quart de matière végétale, s'est élevée de 18° à 31° en l'exposant pendant une heure à l'action des rayons solaires, tandis que dans les mêmes conditions un sol crayeux n'a atteint que 20°; mais ces mêmes substances, étant alors portées à l'ombre, à une température de 16°.5, ont perdu, dans l'espace d'une demi-heure, la première 8°.5, tandis que la seconde a perdu 2°.5 seulement.

» Un sol brun et fertile et une argile froide et stérile, ayant été l'un et l'autre préalablement desséchés, furent ensuite chauffés artificiellement et amenés à la température de 31°: exposés alors à l'ombre à une température de 14° pendant une demi-heure, il fut constaté que la température du sol foncé et fertile s'abaisse pendant ce temps de 5°, tandis que l'argile n'abandonna que 3°.5. Enfin une partie, égale à cette même argile humide, après avoir été chauffée aussi à 31° fut abandonnée dans un milieu dont la température était 13°. En moins d'un quart d'heure elle tomba de 31° à 13° (1). Dans toutes ces expériences, les corps soumis à l'essai furent placés dans des petites capsules d'étain de 0^m,05 carrés et de 0^m,015 de profondeur; la température fut prise avec le plus grand soin, à l'aide d'un thermomètre très sensible.

» Il est complètement évident que la chaleur féconde un sol, et qu'elle est de la plus haute importance, surtout au printemps, pour activer la germination et développer les jeunes plantes. Plus tard, quand les feuilles se sont développées, la terre se trouve abritée sous leur bienfaisant ombrage, et échappe ainsi à l'effet nuisible que pour-

(1) Confirmation remarquable de ce que nous avons déjà dit à propos du refroidissement par évaporation.

raient produire les brûlantes chaleurs de l'été. De sorte que la température de surface d'un sol nu exposé à la radiation solaire peut servir, jusqu'à un certain point, à indiquer le degré de fertilité de ce sol; et, dans la plupart des cas, le thermomètre peut être entre les mains d'un acquéreur ou d'un améliorateur du sol un instrument très utile, etc. »

(*Chimie agricole.*)

L'expérimentateur qui veut étudier les causes de variation de température dans les sols trouve dans le chapitre où sir Humphry Davy a consigné ses expériences et ses opinions des idées très utiles pour le guider dans ses recherches.

Je choisis parmi les ouvrages très connus de cet homme éminent un court tableau indiquant l'affinité qu'ont pour l'eau certains sols, la fertilité et le rendement annuel de ces terres étant, comme il a soin de le faire remarquer, en raison de leur pouvoir hygrométrique (1).

Ces corps furent d'abord séchés à une température de 100°, et ensuite exposés dans une atmosphère saturée d'humidité à la température de 17°,5.

(1) Schübler a critiqué cette opinion de Davy; il s'exprime ainsi (Journal, vol. 1, page 197): « Cette opinion avancée par Davy, que le pouvoir absorbant d'un sol est en raison de sa fertilité, est sujette à bien des exceptions, et l'on s'exposerait à bien des erreurs si on l'acceptait comme règle fixe. » Dans un seul cas excepté, les expériences de Schübler concordent parfaitement avec celle de Davy. J'ai comparé moi-même les propriétés hygrométriques de beaucoup de sols, et j'ai toujours constaté que les sols les plus fertiles jouissaient de cette propriété au plus haut point. C'est donc un moyen de juger de la fertilité d'une terre. Nulle part, du reste, je n'ai vu que Davy recommandât cette méthode comme concluante. Davy, Leslie et Schübler sont d'accord sur ce fait, que le terrain des jardins est le plus absorbant de tous les sols. Davy ne fait d'exception que pour une argile pure, et Schübler convient avec ces deux savants que la fertilité est en raison du pouvoir absorbant et de l'affinité pour l'humidité. Schübler a fait dans cette voie un pas de plus que Davy, en se livrant à de laborieuses expériences qui ont démontré ce fait, que l'humidité rend le sol capable d'absorber plus facilement l'oxygène, et qu'en conséquence cette propriété hygroscopique des sols est pour l'agriculture une question du plus haut intérêt.

Humidité absorbée
en 1 heure.

1000 d'un sol renommé d'Ormistown dans l'Est- Lothian	18
1000 d'un sol très fertile, sur les bords de la rivière Parrets dans le Somersetshire.	16
1000 d'un sol de Mersea en Essex.	13
1000 d'un beau sable fin en Essex	11
1000 d'un sable grossier	8
1000 d'un sol de la hauteur de Bagshot	3

En méditant ces résultats d'expériences isolées, en tirant des conséquences (fausses ou vraies) de toutes ces propriétés diverses dont jouissent les sols, le philosophe ne manquera pas de comprendre la haute importance qu'acquerraient pour l'agriculture ces mêmes données, si elles étaient accompagnées d'indications nous renseignant sur l'énergie de la puissance calorifique ou hygrométrique de ces sols, tant à l'état naturel que soumis aux travaux de la culture. On doit être fondé à croire, avec raison, qu'une série d'expériences minutieusement faites, dans le but d'étudier ces phénomènes intéressants, expliqueraient enfin comment il se fait que des sols situés sous de froides latitudes sont pourtant plus fertiles que des sols placés sous des latitudes plus chaudes. Elles serviraient certainement à détruire bien des erreurs théoriques et de nombreux préjugés pratiques; elles serviraient à démontrer que bien souvent des effets ont été attribués à des causes erronées; elles aideraient enfin à nous initier d'une manière claire, exacte, aux opérations de la nature.

L'examen qui précède des propriétés physiques des sols, étudiées au point de vue de la chaleur, de l'humidité et de l'action qu'exerce l'eau, soit en les échauffant, soit en les refroidissant, démontre qu'il y a une immense différence entre les propriétés des corps solides et des corps liquides. Il constate que l'eau absorbe facilement la chaleur, mais qu'elle ne peut la transmettre dans l'intérieur du sol qu'en s'y infiltrant elle-même; que la chaleur qu'elle emprunte est aussitôt rendue

à l'atmosphère, soit par rayonnement, soit emportée à l'état latent par l'évaporation continuelle qui a lieu quand elle reste stagnante à la surface du sol on a une petite profondeur, puisque les corps solides qu'elle touche et qu'elle a échauffés à son détriment émettent la chaleur qu'ils ont absorbée à toutes les substances environnantes et dans toutes les directions, quoique avec des intensités différentes, aussi bien qu'à l'atmosphère elle-même. Il faut encore tenir compte ici d'un autre effet non moins important produit par le pouvoir émissif des corps solides. A mesure que le soleil s'abaisse à l'horizon, la couche superficielle du sol se refroidit et devient, à un moment donné, plus froide que l'atmosphère ambiante ; c'est ce refroidissement qui produit la rosée, laquelle est en partie absorbée par la matière terreuse, en vertu de son affinité pour l'eau. Ainsi sont réparées, pendant la nuit, sous cette bienfaisante influence, les pertes occasionnées pendant le jour par une grande évaporation. L'eau aussi abandonne très facilement la chaleur par radiation ; mais elle n'attire pas l'humidité, excepté cependant dans des cas particuliers très rares : qu'on juge donc de l'utilité du drainage. Ces phénomènes importants, à savoir : l'absorption de l'humidité et la radiation de la chaleur, agiront avec une énergie qui sera toujours proportionnelle aux qualités naturelles inhérentes au sol, à l'état de sa préparation mécanique et de l'aménagement bien entendu de l'eau qui lui est utile.

CHAPITRE III.

CAUSE ET ACTION PHYSIQUE DE LA ROSÉE.

On ignore encore la quantité d'eau enlevée à l'atmosphère par la production de la rosée ; mais, grâce aux intéressants travaux du docteur Wells, à ses expériences si consciencieuses et si remarquables, à ses observations si fines, à ses inductions surtout si profondes et si justes, les causes et plusieurs des lois qui régissent ce phénomène sont

aujourd'hui du domaine de la science (1). Avant les expériences concluantes de ce savant, la rosée était considérée comme étant *la cause* du froid développé pendant que le phénomène se produit ; lui-même, dans l'origine, partagea cette opinion.

Mais, dit-il, « après avoir commencé une série d'expériences régulières, je ne tardai pas à douter de la vérité de cette opinion en reconnaissant que les corps étaient quelquefois plus froids que l'air ambiant, sans cependant être atteints par la rosée ; que la rosée étant formée, si l'on faisait plusieurs expériences consécutives ayant pour but de mesurer la quantité d'eau produite et le froid développé en même temps, on constatait souvent que ces deux quantités se reproduisaient dans des rapports très variables. — Ces observations, fréquemment répétées, m'ont à la fin convaincu de l'erreur de mon opinion, et j'ai été naturellement amené à conclure qu'au contraire la rosée était le résultat dû au froid des objets sur lesquels le phénomène apparaît. »

Plus loin il ajoute que, « si la rosée a pour cause le refroidissement des corps sur lesquels elle se développe, ces corps eux-mêmes ont pour cause de refroidissement leur propre pouvoir émissif. »

De sorte que, jusque là, *l'effet* avait été pris pour la *cause*. La théorie de Wells, admise partout aujourd'hui, donne sur les causes de la production de la rosée des explications rationnelles et incontestables.

(1) Les *Essais sur la rosée*, qui parurent pour la première fois en 1814, sont aujourd'hui très rares. Mais on les trouve dans les ouvrages du Dr. Wells, publiés en 1818, contenant une note sur la vie de l'auteur écrite par lui-même.

Un savant distingué, encore existant, après avoir fait de cette théorie une analyse aussi concise que serrée, s'exprime ainsi : « Nous avons choisi à dessein cette théorie de la rosée que feu le Dr. Wells a développée le premier comme étant l'un des plus beaux spécimens de brièveté et de concision d'inductions tirées de l'observation. Il est certain qu'il est impossible de traiter à fond et complètement cette question dans un cadre aussi restreint ; mais à ceux qui se livrent à l'étude des phénomènes naturels, nous recommandons vivement cet ouvrage (court et intéressant) comme un modèle avec lequel on ne saurait trop se familiariser. » *Discours sur l'étude de la physique naturelle*, par J.-F. Herschel, 1832, page 163.

Pendant qu'il recherchait les causes qui donnent naissance au phénomène dont nous nous occupons, le docteur Wells s'assurait, en étudiant les différentes influences agissant sur la température du sol, que, dans les corps qui le constituent, la puissance attractive pour l'eau n'est pas proportionnelle à l'énergie de leur pouvoir rayonnant, et que « non seulement la rosée ne développe pas de froid, que, loin de là, au contraire, il y a production de chaleur par l'abandon que l'eau fait de la chaleur latente en passant de l'état de vapeur à l'état liquide. »

Ainsi, pendant les nuits de fortes rosées, le sol, en vertu de ses propriétés émissives, a une température inférieure à la température atmosphérique ; mais l'eau en suspension dans l'air a la température du milieu dans lequel elle est. Il en résulte que la rosée à laquelle elle donne naissance est relativement plus chaude que la surface terrestre, et, si son action échauffante ne venait pas, pendant les nuits claires et sereines, faire obstacle à l'émission rapide de la chaleur que les corps terrestres laissent échapper par rayonnement, il est très vraisemblable que la déperdition de chaleur pendant la nuit serait plus grande que la chaleur acquise pendant le jour à l'ardeur des rayons solaires, et que ces brusques variations de température en 24 heures auraient, pendant la saison d'été, une influence néfaste assez grande pour tuer la vie végétale. Il est très facile, même pour un observateur peu habile, de se convaincre que, pendant une nuit bien claire, la surface de la terre est plus froide relativement que l'atmosphère. La gelee blanche, en effet, que l'on voit fréquemment apparaître sur l'herbe, n'est autre chose qu'une rosée congelée ; or, ce phénomène se produit quand le thermomètre indique dans l'air une température de plusieurs degrés au-dessus du point de congélation. Il faut donc nécessairement en conclure que les feuilles des plantes ou les aspérités du sol sur lesquelles le phénomène se produit étaient à une température plus basse que zéro quand le dépôt s'y est effectué. Au Bengale, on se procurait de la glace artificiellement, en quantité assez grande pour pouvoir en tirer profit, en exposant à l'air l'eau

contenue dans des vases de terre poreux et placés dans des trous peu profonds; on a souvent observé que , pendant une nuit claire et seraine, il y avait entre la température de l'air et celle de l'eau au moment où la congélation va s'opérer une différence de 8° à 10° : l'air devait alors avoir une température d'environ 25° à 28°.

Le génie de Davy semble avoir compris ce mystérieux phénomène avant que le docteur Wells en ait développé la théorie et démontré la seule et unique cause. Cette profonde remarque, que je vais citer, le fait presque croire. « La propriété dont jouissent les sols d'absorber l'humidité de l'air est en rapport direct avec leur fertilité. Quand ce pouvoir est grand , il pourvoit à l'humidité nécessaire aux plantes à l'époque des grandes chaleurs. Il équilibre les effets produits par l'évaporation diurne en absorbant sans cesse les vapeurs aqueuses en suspension dans l'atmosphère : dans le jour, en agissant par les parties *intérieures* du sol, et, pendant la nuit, en agissant à la fois et *intérieurement* et *extérieurement*. » (*Chimie agricole.*)

Un sol non saturé d'humidité et suffisamment perméable à l'air est dans de bonnes conditions pour donner accès à l'humidité atmosphérique, l'air étant un véhicule d'humidité constant et inépuisable; et, si la température du sous-sol, assez poreux aussi, est voisine ou au-dessous du *point de rosée*, ce qui a lieu assez souvent à quelques instants de la journée pendant l'été, la rosée pourra alors se produire *à l'intérieur du sol pendant le jour*, tandis qu'en même temps la partie extérieure et superficielle de ce sol renverra dans l'atmosphère chaleur et humidité. Cet enchaînement d'actions diverses dépend évidemment des températures relatives et de l'état plus ou moins aqueux de l'air et du sous-sol à un moment donné; mais il est indépendant de la puissance hygrométrique du sous-sol, qui cependant peut devenir un puissant auxiliaire en facilitant le sol à appeler et à retenir, surtout par ses parties intérieures, l'humidité atmosphérique. Ainsi, il est démontré que l'absorption par les sols de l'eau sous forme de rosée n'a pas lieu seulement pendant la nuit et rien qu'à la surface de la terre; que la rosée ne peut jamais avoir lieu sans abandon-

ner de la chaleur à la substance sur laquelle elle se dépose : donc il est de la plus haute importance d'ameublir suffisamment le sol, afin d'y faciliter intérieurement les mouvements de l'air, et de lui permettre de se renouveler sans cesse. On peut hardiment assurer qu'un des effets les plus avantageux du drainage est de faciliter tous ces mouvements et de conduire l'air au fond du lit arable, car, à mesure que l'eau s'écoulera, l'air viendra occuper le vide que son écoulement a laissé vacant.

Les fermiers observateurs ne sont point sans avoir remarqué que la quantité de rosée déposée sur des sols en friche pendant une même nuit varie énormément, et que cette différence est encore plus sensible à constater sur les feuilles de diverses plantes.

Les sols ameubliss attirent beaucoup plus la rosée que les sols serrés et compacts, car de leur état de pulvérisation naissent une infinité de petites aspérités qui facilitent le rayonnement de la chaleur. Les sables paraissent avoir une très grande force attractive, et dans quelques contrées ils ne doivent leurs propriétés végétales qu'à l'humidité qu'ils absorbent pendant la nuit.

Il y a du reste un exemple frappant de l'assimilation au sol de l'eau déposée par la rosée et de ses qualités fertilisantes : ce sont les plaines sablonneuses du Chili, qui sont bien rarement humectées par la pluie, et cependant ce sol, qui semble soumis à des conditions de stérilité complète, est maintenu dans un état de fertilité convenable par ses forces actives de rayonnement et d'absorption. Pendant le jour l'action brûlante du soleil est tempérée par une abondante évaporation, qui emporte à l'état latent une énorme quantité de chaleur, et cette humidité est à son tour restituée à la terre sous forme de rosée pendant les nuits resplendissantes de cette région tropicale.

Ce même exemple se reproduit en Afrique, où l'on trouve des arbres vigoureux et d'une venue admirable dans des districts arides et sablonneux, toujours privés de la salutaire influence de la pluie, éloignés de tout voisinage de sources, et jamais rafraichis, même artificiellement.

On voit en même temps, dans la même latitude et presque dans le même lieu, des sols d'une nature toute différente et plus favorable à la culture, nécessiter le secours de l'irrigation pour pouvoir suffire aux exigences de la vie végétale.

Dans notre pays, c'est à l'humidité répartie avec prodigalité par la rosée qu'il faut attribuer la riche fertilité des prairies qui bordent nos cours d'eaux. Là, l'atmosphère se charge de vapeurs aqueuses plus complètement que dans les régions élevées; et, comme elle est le véhicule qui disperse, transporte et distribue l'eau pendant la nuit, les champs avoisinants sont largement arrosés par l'eau qui s'y condense, en obéissant aux lois découvertes et indiquées par le docteur Wells (1).

La structure filamenteuse des herbes, leurs touffes délicates et déliées, leur affinité pour l'élément aqueux, en rendent la culture avantageuse dans ces localités. Il est intéressant de remarquer aussi que les feuilles des différentes plantes se prêtent à l'action de la rosée suivant un mode qui est particulier à chaque variété. Les brins d'herbe, par exemple, sont ordinairement pailletés de gouttes de rosée; puis, ces gouttelettes se réunissant, le brin d'herbe se trouve entièrement enveloppé du liquide, et sert alors de conduit pour verser l'eau sur le sol en petits filets très déliés. D'autres plantes, au contraire, telles que les choux, le trèfle, la capucine, etc., etc., la reçoivent sous forme de globules parfaitement distincts, que l'on

(1) L'expression française: une rivière *arrose un pays*, est de beaucoup préférable à l'expression anglaise: une rivière *mouille* (waters) un pays. L'action de mouiller une terre implique un moyen artificiel.

L'arrosage au contraire est un fait naturel: ce n'est que dans des circonstances exceptionnelles qu'une rivière peut saturer un sol à une grande distance de ses bords; cependant, j'ai entendu plusieurs personnes, même des auteurs, se servir dans cette acception du mot *mouiller* (waters). Une rivière profondément encaissée arrosera un pays tout aussi bien qu'une rivière à bords plats. La rivière à lit profond agit absolument comme un drain et n'humecte pas directement la surface du sol. Le terme *mouiller* (waters) devrait en agriculture être synonyme de *irriguer*.

peut rouler en tous sens sur la feuille sans qu'ils paraissent la mouiller; en réalité ces petites perles d'eau ne touchent pas la feuille, elles reposent sur un coussin d'air interposé entre elles et la feuille. Souvent, et de grand matin, il m'est arrivé de recueillir sur les feuilles d'un seul chou une tasse entière de rosée; et pendant de belles nuits, alors que j'étudiais ce phénomène charmant et si plein d'intérêt, j'ai vu la feuille délicate du trèfle, se courbant sous le poids de son fardeau de cristal, s'épancher sur le sol, et recommencer aussitôt sa récolte de précieux globules. Cette opération se répète environ une fois par heure. A mesure que le soleil s'élève à l'horizon, on voit les gouttes diminuer peu à peu par le fait de l'évaporation qui commence, et l'on reste frappé d'admiration, devant cette prévoyante sollicitude de la nature, en songeant que cette volatilisation graduelle est un moyen pour diminuer l'intensité de l'action trop brusque du soleil, et préparer ainsi les plantes à en supporter sans en souffrir les ardeurs croissantes; aussi une rosée abondante annonce généralement une brillante et chaude matinée. Les feuilles et les fleurs de forme concave et horizontale semblent retenir tout ou presque toute la rosée pour leur besoin spécial, cette assimilation directe leur étant probablement plus avantageuse que celle qui a lieu par l'aspiration des racines.

Les croyances populaires sont souvent fondées sur de justes observations; quelquefois même il arrive que la pratique devance les découvertes de la science. Mais ces résultats sont la plupart du temps reçus avec défiance et scepticisme, et cela parceque, n'étant point immédiatement à même d'expliquer l'origine de faits acquis, ne pouvant les soumettre de prime abord aux lois d'une théorie, nous préférons douter. En conséquence, il importe au plus haut point pour l'art de trouver la démonstration, les lois qui régissent un phénomène signalé, car alors la théorie vient en aide à la pratique et la pousse rapidement dans une large voie de progrès. Cette dernière considération, jointe à la rareté de l'ouvrage du docteur Wells, m'autorise à citer ici quelques fragments de sa théorie de la rosée; et,

quoique les phénomènes dont il s'occupe ne se rattachent pas directement à la question agricole, je pense néanmoins qu'ils seront d'un très haut intérêt pour le cultivateur.

« Cet article, dit le docteur Wells, pourra sembler ridicule quand on saura qu'il a pour but de démontrer que l'action de la lumière de la lune active la fermentation putride des matières animales. Je ne sache point que cette opinion soit admise ailleurs qu'en Amérique; mais j'ai lieu de croire, d'après quelques documents, qu'elle existe en Afrique, et qu'elle a été introduite en Amérique par les nègres. Cependant les anciens partageaient cette croyance, car Pline en affirme la réalité, et Plutarque, après l'avoir longuement discutée dans une de ses symposia, finit par l'admettre comme très fondée.

» Les rayons de la lune ne communiquant aucune chaleur, sensible aux corps qu'ils frappent, il semble impossible au premier abord qu'ils puissent favoriser la putréfaction d'une manière plus ou moins directe. Cependant on pourrait trouver la raison de cette influence en observant que ces rayons frappent les substances animales au moment même où, dans les pays chauds (c'est dans ces contrées que prévaut le phénomène dont je parle), une cause réelle de putréfaction peu remarquée se produit pour disparaître avec le clair de lune.

» Les nuits sereines ou pendant lesquelles la lune brille d'un bel éclat sont presque toujours très calmes, et donnent naissance à une abondante rosée; de là l'expression de *rosida, rorifera luna*, employée par Virgile et Status; de là aussi l'opinion de Plutarque, partagée par plusieurs philosophes de l'antiquité, que la lune humidifie les corps exposés à sa lumière.

» Or, les substances animales sont celles qui, exposées au serein, absorbent plus facilement l'humidité; il faut donc en conclure qu'elles deviennent plus froides que l'atmosphère.

» Mais, par cette absorption de liquide qu'elles ajoutent à leur eau de constitution, elles se mettent pour le jour qui va naître, ainsi que l'expérience l'a démontré pour les climats chauds, dans toutes les meilleures conditions possibles pour favoriser la putréfaction.

» Ces raisons sont celles que développent Pline et Plutarque, avec cette différence qu'ils attribuent la provenance de l'humidité à une propriété particulière dont jouirait la lune.

» Cette fausse théorie des anciens a probablement contribué à discréditer chez les modernes des faits qu'elle se proposait d'expliquer. » (*Essais sur la rosée.*)

Quoi qu'en dise le docteur Wells, ces croyances ne sont point particulières à l'antiquité et aux régions tropicales seulement. Longtemps avant de connaître ses *Essais*, j'avais déjà remarqué moi-même que la fermentation était vigoureusement activée dans les tas de fumiers après des nuits fortes en rosée et auxquelles succédaient des jours très chauds. Ce phénomène a été souvent le sujet de ma conversation avec un fermier intelligent et observateur des environs de Warwick, qui partageait sur ce fait les mêmes idées que moi. Plusieurs autres fermiers ont aussi cette opinion, qui est du reste assez commune en France parmi les paysans des environs de Paris. Pendant un séjour de quelques années que j'ai fait en France, j'habitais une petite maison entourée de lots de terrains non clos et diversement cultivés; près de chacun d'eux se trouvait un tas de fumier, dont les exhalaisons putrides venaient souvent affecter très désagréablement mon odorat. Quand le matin je m'informais de la cause de cette recrudescence d'odeur: « Monsieur, me répondaient presque toujours les paysans mes voisins, cela est dû à la rosée de la nuit dernière »; mais je n'ai point souvenance que jamais aucun d'eux ait attribué cet effet aux rayons de la lune.

On ne possède en agriculture aucun indice sur la préparation du fumier, sur la direction à imprimer à la fermentation pour arriver à de bons résultats. Il est pourtant très avantageux de pouvoir à volonté activer ou retarder la putréfaction. La connaissance de cette haute question d'économie agricole est pourtant digne en tous points d'une étude sérieuse et d'expériences faites avec une exactitude plus grande que celles qui ont été entreprises jusqu'à ce jour. Avant toute chose, il serait bon de couvrir la marre d'un toit mo-

bile, qui permettrait déjà de diriger avec plus ou moins de succès l'action des agents atmosphériques, l'air, l'eau et la chaleur, lesquels jouent dans le phénomène de la fermentation putride un rôle très important, la plupart du temps au détriment de cet engrais, le plus naturel, au moins, s'il n'est pas le plus avantageux pour le cultivateur.

« J'ai souvent souri, dit le docteur Wells, alors que, fier de mes demi-connaissances, je voyais les jardiniers employer, pour abriter du froid les plantes délicates, une natte mince de paille. Ce moyen, ou toutes autres substances légères employées, me semblait complètement insuffisant pour les empêcher de prendre la température de l'atmosphère, la seule qui, selon moi, pouvait leur nuire. Mais, quand j'eus appris que les corps à la surface de la terre deviennent pendant les nuits calmes et sereines plus froids que l'atmosphère, en émettant leur chaleur par rayonnement, je reconnus immédiatement toute la raison de cette pratique, qui m'avait d'abord semblé pour le moins inutile. »

Il s'assura alors par expérience « qu'il y a toujours une différence de température très notable entre deux corps abrités par une même substance, l'un étant en contact direct avec son abri, l'autre, au contraire, en étant quelque peu séparé. Il est possible, ajoute-t-il, que l'expérience ait depuis long-temps indiqué au jardinier le genre de couverture le plus avantageux pour les plantes jeunes ou frêles, c'est-à-dire éviter le contact; cependant je ne me rappelle pas avoir jamais vu une disposition ayant pour but de maintenir les paillassons à une certaine distance des plantes qu'ils doivent protéger. »

En France on a l'habitude de couvrir les légumes repiqués avec des toiles soutenues par des piquets d'environ 0^m.60 de haut. On m'a souvent emprunté pour cet usage le linge dont je pouvais disposer; moi-même je mettais mes amis à contribution, jusqu'à ce que les jeunes plantes fussent suffisamment enracinées et assez fortes pour supporter sans défense la chaleur du jour et le froid de la nuit.

Ne serait-il donc pas possible au cultivateur de protéger aussi les pommes de terre, les navets et autres tubercules, contre la gelée, au moyen de toiles imperméables portatives étendues au dessus du champ à une hauteur convenable, au lieu de les couvrir de terre ou de paille. Quand les substances se touchent, la chaleur est transmise par la conductibilité, et enfin rayonnée dans l'espace : le froid alors atteint les tubercules et les gèle. Cet essai mérite d'être tenté.

M. Groburn m'a communiqué, relativement à la gelée blanche, une observation remarquable, qui est connue probablement des fermiers ; mais, pour ceux qui ne la connaissent pas, il est bon de la signaler.

Il a constaté que le passage d'un troupeau de moutons dans une pièce de trèfle, et particulièrement dans un jeune trèfle de printemps couvert d'une gelée blanche, était certainement suivi de la destruction de chaque feuille sur laquelle les animaux avaient passé, et il ajoute avec raison : « Vous pourriez facilement suivre la trace d'un voleur qui se serait enfui à travers un champ de trèfle couvert de gelée blanche. Le jour suivant, à midi, le chemin qu'il aura suivi sera parfaitement indiqué par la flétrissure des plantes qu'il aura foulées. Sachant que la gelée blanche protège les plantes qu'elle couvre contre l'action ultérieure du froid, on pourrait attribuer la mort des feuilles touchées à la perte de la rosée qui les abritait ; cependant il est possible que la *cause* immédiate soit purement mécanique, et la flétrissure l'*effet* direct du mal causé par le passage : car, dans cet état, les feuilles sont si cassantes, que la moindre pression suffit pour les meurtrir. Pour éclaircir ce fait, il suffit d'enlever avec grand soin la gelée blanche qui couvre des feuilles, et de voir si ce même phénomène se reproduit.

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES SUR LA TEMPÉRATURE DES SOLS.

Expériences de Schübler. — Ce sujet semble avoir attiré l'attention de plusieurs savants allemands, qui paraissent en avoir poursuivi l'étude avec cette patience et cette minutie qui les caractérise. L'excellente traduction du savant ouvrage du professeur Schübler, qui a été publiée dans le premier volume du journal de la Société royale d'agriculture, nous oblige à faire plus que d'y renvoyer les personnes qui désireraient poursuivre les mêmes recherches. Les conséquences qu'il tire de ses expériences de laboratoire confirment en grande partie celles de Davy et de Leslie. Elles sont d'une nature plus élémentaire, il est vrai, mais plus concises, plus précises, et peut-être même plus exactes que celles des chimistes anglais; cependant ce précieux travail ne laisse pas moins à désirer que les recherches de nos compatriotes: toutes pèchent par le même défaut, celui de n'avoir point été faites à un point de vue assez pratique.

Tout le monde reconnaît la vérité de ce passage de Schübler.

« Tels terrains peuvent être fertiles pour un pays, et cesser de l'être pour un autre, sous l'empire des circonstances extérieures. »

C'est la différence des conditions extérieures, ou, pour mieux dire, l'influence des conditions météorologiques de la surface du globe, qui rend inapplicables à tous les climats les mêmes systèmes de culture et de récolte. L'agriculteur intelligent doit donc tirer cette conséquence évidente que, s'il veut profiter utilement de résultats constatés expérimentalement, il doit répéter les expériences sur son propre sol, ou dans un sol soumis à des conditions identiques.

En Angleterre, par exemple, nous avons généralement à combattre un excès d'humidité joint à une chaleur solaire peu intense et très variable. Je me propose de démontrer *qu'en ouvrant à l'eau un libre passage à travers le sol, la grande chaleur de surface*

aura acquis annuellement une température moyenne beaucoup plus élevée. Schübler, dans le chapitre intitulé : *De l'influence de l'humidité sur l'échauffement des sols*, explique très clairement ce principe, ainsi que l'effet d'écoulement obtenu sur l'excès d'humidité. Il dit : *L'abaissement de température occasionné par l'évaporation est de 6° à 8°.* Malheureusement il n'indique pas la marche suivie pour constater ces quantités thermométriques.

Pendant on trouve le passage suivant au 10^e chapitre, où il traite de la *capacité des sols humides pour développer la chaleur interne* :

« La pluie qui tombe pendant la belle saison est à une température plus basse que l'atmosphère et que la couche terrestre; de sorte que, pendant un temps chaud, la pluie tend à refroidir la terre. »

Cette citation semblerait militer contre cette doctrine que, quand on ouvre à la pluie un passage facile à travers le sol, elle l'échauffe; il n'en est rien cependant, et tout doute disparaît à ce sujet si l'on consulte les expériences faites sur la température des sols à Tubingen et à Genève, par Schübler lui-même.

A Tubingen, il eut pour but de constater, à l'aide du thermomètre, la température moyenne la plus élevée de la croûte terrestre.

La boule du thermomètre étant recouverte de 0^m,025 de terre seulement, ces observations furent faites pendant de beaux jours, de midi à une heure, toutes les fois que le temps à cette heure était parfaitement pur.

Pour les six mois les plus chauds de l'année, c'est-à-dire d'avril à septembre inclusivement, la moyenne obtenue fut de 44°. Maintenant il est bien évident que, si la pluie venait à tomber sur la terre aussi fortement échauffée, la surface se trouvait naturellement refroidie; mais il est aussi évident qu'il en résultait pour les couches subjacentes une élévation de température: car, à la même heure et à l'ombre, l'atmosphère indiquait 22°. Or, la température d'une pluie tombant à ce moment eût été à peu près égale à celle de l'atmosphère, et cette pluie, en contact avec le sol, se fût certainement

échauffée jusqu'à environ 38°; et, cherchant alors un écoulement à travers le sol, elle eût échauffé les parties inférieures de celui-ci, qui sont relativement plus froides.

Les expériences qu'il fit à Genève en 1796 donnent la température moyenne du sol à la surface, à 0^m.07 et à 1^m.20; elles furent faites journallement, quelles que fussent les nombreuses variations du temps.

La température moyenne obtenue pendant les six mois indiqués plus haut fut :

A la surface.	30°
A 0 ^m .07.	12°
A 1 ^m .20.	15°.5
Température de l'air à l'ombre.	15.25

A ces résultats l'auteur ajoute les explications suivantes :

« L'élévation de température due à l'action solaire est ici bien moindre que celle observée à Tubingen : car, pendant les jours couverts et pluvieux, la surface du sol et l'air atmosphérique sont à la même température; mais ces derniers résultats donnent avec beaucoup plus d'exactitude la température moyenne du sol à une certaine profondeur.

Ces observations constatent que, si la température moyenne de la pluie était, pendant les six mois mentionnés, égale à celle de l'air, elle éprouverait en atteignant la terre une augmentation de chaleur de 7°.5, et la pénétrerait alors avec une température de 2° plus élevée que celle constatée à une profondeur de 0^m.075; et de 7°.35 plus élevée que la température du sol à une profondeur de 1^m.20, distribuant ainsi au sous-sol chaleur et humidité. Enfin on peut encore tirer des chiffres qu'il indique cette conclusion qu'en moyenne, et pour l'année entière, l'augmentation de température communiquée au sol par la pluie aurait été de 1°.5 à 0^m.075, et de 3°.5 à 1^m.20 de profondeur.

En conséquence, cette opinion avancée par Schübler que *par un*

temps chaud la pluie refroidit la terre n'est vraie que pour la surface superficielle, et cette action est là utile et bienfaisante.

Le chapitre dans lequel cet auteur traite de *l'influence de l'humidité sur l'échauffement des sols* doit être regardé comme incomplet, puisqu'il n'y tient aucun compte de l'effet échauffant produit par la rosée, laquelle peut être considérée soit comme répartissant directement la chaleur à la surface du sol plus froid qu'elle au moment où elle s'y dépose, soit comme s'opposant par son interposition à l'émission dans l'espace de la chaleur de la terre. Dans ces deux cas, elle joue un rôle très important et mérite d'être considérée comme un agent actif, dont l'énergie maintient dans la masse du sol les quantités nécessaires et suffisantes de chaleur et d'humidité.

Expériences de Leslie. — On trouve dans le supplément de l'Encyclopédie britannique, article *Climat*, écrit par le professeur Leslie, une table d'expériences sur la température de la terre pour chacun des mois de l'année faites simultanément aux quatre profondeurs suivantes : 0^m.30, 0^m.60, 1^m.20 et 2^m.40, pendant les années 1816 et 1817. Ce travail fut entrepris à la demande de M. Ferguson de Raith. Les instruments d'observation furent enfoncés dans un sol tendre, graveleux, qui à 1^m.20 de profondeur, change de nature et devient un sable mouvant ou sable aquifère. Ces observations paraissent n'avoir eu d'autre but que de fournir à Leslie quelques déductions pour l'aider à la détermination des lignes isothermales, et à rechercher quel rapport il peut exister entre la température moyenne annuelle d'une latitude donnée, celle des sources et de la terre à une certaine profondeur; je crois qu'il est inutile de reproduire ici cette table.

Or, des déductions tirées à un pareil point de vue sont au moins fort vagues, et ne sont certainement point de nature à éclairer les agriculteurs sur les propriétés physiques des différents sols qui concourent à la formation de la croûte terrestre et à leur suggérer des moyens pratiques d'amélioration. La simple détermination de la chaleur terrestre « aux profondeurs que l'on atteint en agriculture » est

inutile si ces observations ne sont point faites et recueillies dans le but de conduire à la découverte des causes qui influent sur cette température. J'ai eu, il y a vingt années environ, l'avantage de passer quelques jours en compagnie de Leslie, chez feu lord Rosslyn, dans le Fifeshire. Il me conduisit chez M. Ferguson à Raith pour me faire voir les thermomètres dans la terre. Il y en avait, si j'ai bonne mémoire, deux dans un herbage : l'un à 0^m.30, l'autre à 0^m.90 au dessous du sol. Leslie avait alors l'esprit tellement préoccupé des nouveaux instruments qu'il venait d'imaginer, le photomètre, l'hygromètre et le thermomètre différentiel, dont il avait les mains et les poches pleines, qu'il me fut impossible d'appeler sérieusement son attention sur l'utilité que, selon moi, la pratique pourrait retirer un jour d'observations faites avec soin sur la température des sols. C'est depuis ce jour que j'ai pris la résolution de commencer moi-même et dans ce but une série d'expériences; mais ce ne fut qu'en 1837 que se présenta l'occasion favorable.

Mes propres expériences. — Les expériences que je vais décrire ont été faites dans une tourbière appelé *red moss* (1), près de Bolton-le-Moors, dans le Lancashire, d'une nature identique au chat moss, ayant dans sa constitution quelque analogie avec cette consistance qui lui ferait donner en Ecosse le nom de mousse coulante, à cause de de son état semi-fluide. La profondeur de la tourbière à l'endroit où les thermomètres furent placés était de 9^m.00, à partir de 0^m.30 de la surface; jusqu'au fond on avait une température uniforme de 8°. Pendant près de trois années que durèrent les observations, à quelque profondeur que fussent placés les thermomètres, jamais il n'y eut de variation de température, à l'exception cependant de l'hiver de 1836 : le thermomètre qui était placé le plus près de la surface du sol tomba pendant quelques jours seulement à 7°.

J'aurai plus tard occasion d'appeler tout particulièrement l'atten-

(1) C'est pour ces mousses que l'auteur entreprit et dirigea la construction de la machine patentée de M. Heathcoat pour cultiver les marais à l'aide de la puissance de la vapeur.

tion du lecteur sur cette uniformité de température constatée dans la masse entière de cette tourbière naturelle, car ce fait tend à prouver que la température plus élevée observée dans ce sol tourbeux cultivé n'était due qu'au changement apporté à sa constitution mécanique, et à l'enlèvement de l'eau stagnante. Je me suis assuré qu'il n'y avait point de sources dans cette tourbière, et jamais je n'ai pu m'apercevoir que l'eau vînt du fond d'aucun des drains dont on l'avait sillonnée. Le sous-sol sur lequel avait eu lieu la formation tourbeuse était une marne blanche rétentive, abondamment mélangée de calcaire graveleux. La température de l'eau extraite d'une houillère attenante à la tourbière, et ayant 90^m de profondeur, était de 12°, et celle de l'eau provenant d'un puits artésien foré près de ma demeure à une profondeur de 48^m marquait invariablement 11°.

Le terrain dans lequel étaient enterrés les thermomètres était bien choisi. A un mille à l'entour il n'existait pas un seul buisson plus haut qu'une bruyère; ainsi, à l'exception des nuages seulement, rien n'arrêtait l'influence du soleil depuis son lever jusqu'à son coucher.

Le lit du sol avait été préparé de la manière suivante. En 1836, les champs avaient été labourés et bien ameublés à une profondeur de 0^m.225 par une charrue à vapeur. Une pièce de 179^m carrés non drainée fut divisée en douze planches destinées à des cultures d'expérience. Chaque planche avait 5^m.50 de long sur 2^m.70 de large, et chaque planche fut isolée des autres et de la tourbière par un fossé ouvert de 0^m.60 de large en haut, de 0^m.30 en bas, et de 0^m.90 de profondeur.

Avant d'ouvrir ces fossés d'isolement, la pièce entière avait été elle-même entourée d'un fossé collecteur de 1^m.65 de profondeur, se déversant dans un fossé d'écoulement ayant 0^m.70 de profondeur. La couche de terre fut relevée et mise en tas; la surface alors à découvert fut façonnée jusqu'à une profondeur de 0^m.90; puis, les petits fossés d'isolement furent creusés. Ces différentes opérations terminées, la terre végétale fut remise en place, et ce champ ainsi

préparé resta dans cet état pendant l'hiver de 1836 à 1837. Si les thermomètres avaient été prêts, ils eussent été immédiatement enfoncés dans le sol ; mais je ne pus les obtenir du fabricant ni les placer que le 1^{er} juin 1837.

Ils étaient au nombre de cinq : la partie enfoncée en terre était plongée sur toute sa longueur dans un petit tube en fer ouvert par le bas, et perforé d'une infinité de petits trous à l'entour de la boule. Ils furent solidement reliés entre eux par des entretoises en fer, et le tout formait un cadre solide et portatif. Les tiges en verre s'élevaient à une hauteur de 0^m.25. Elles étaient garanties du vent ou de tout accident par une enveloppe métallique à jour, portant une échelle divisée en degrés et dixièmes de degré. Le cadre portant les cinq thermomètres disposés comme je viens de le dire fut enterré au centre d'une des divisions de la pièce de terre et dans la ligne méridienne, afin d'éviter autant que possible, à midi, l'ombre portée des tubes restés en dehors du sol ; puis le sol fut soigneusement remplacé autour des thermomètres, de manière à conserver autant que possible les conditions de constitution de la masse entière. En même temps on plaça à 0^m.175 de profondeur un thermomètre nu dans la tourbière voisine. Avant de rien noter, j'attendis que les thermomètres fussent bien assis dans le sol pour fonctionner avec régularité.

Tableau des observations faites pendant le mois de janvier 1837.

DATES.	Heures.	Sens du vent.	Température de l'air à l'ombre à 4m.20 au dessus du sol.	Température du thermomètre dont le ballon est placé au dessous de la surface.				
				0m.787	0m.655	0m.485	0m.550	0m.178
7	9 m.	S.-O.	»				10° 0	11° 1
	2 s.	S.	»	7° 8	8° 2	9° 1	10.4	12.8
8 (a)	9 m.	S.-E.	»	»	»	»	10.0	10.5
	2 s.	»	»	»	»	»	»	11.4
9 (b)	9 m.	E.	»	7.8	8.4	»	9.4	9.4
	2 s.	O.-S.-O.	»	»	»	9.2	9.7	11.1
10 (c)	9 m.	S.	»	7.9	»	9.2	10.0	11.7
	2 s.	»	21° 1	»	»	»	10.3	12.2
11 (d)	9 m.	»	18.3	8.0	8.6	»	10.5	12.8
	10	»	20.0	»	»	»	11.1	13.3
	11	»	»	»	»	»	»	13.9
	12	»	»	»	»	»	»	14.2
	1.30 s.	»	»	»	»	»	11.4	14.4
	2	»	»	»	»	»	»	15.0
	3	»	»	»	8.6	9.2	»	15.0
	4	»	»	»	»	»	11.3	14.2
	5	»	»	8.0	»	9.3	11.1	13.9
	6	»	»	»	»	»	10.8	13.3
12 (e)	9 m.	O.-S.-O.	»	8.0	8.6	»	10.5	12.8
	2 s.	O.-S.-O.	»	8.2	8.9	9.3	11.1	15.0
13 (f)	12 m.	S.	»	8.4	9.1	10.3	11.7	15.8
14 (g)	9 m.	S.-O.	»	8.4	9.2	10.4	11.7	14.2
	9 m.	S.-O.	20.5	8.7	9.4	10.7	12.3	15.6
15 (h)	1 s.	»	22.2	8.8	9.8	11.1	12.8	17.2
	2	»	23.3	»	»	»	»	17.8
	3	O.	25.6	»	»	11.0	12.2	16.9
	1.35'	»	24.4	»	9.9	11.0	12.8	18.3
16 (i)	3.30'	»	22.2	»	»	11.1	13.9	18.9
	4	S.	20.0	8.8	9.9	11.4	13.0	17.2
	9 m.	S.	19.4	8.9	10.0	11.6	13.1	14.4
	3 s.	»	23.3	9.0	10.5	»	13.2	15.8
17 (j)	10 m.	E.	17.8	9.0	10.1	»	12.8	13.3
18 (k)								

(a) Temps froid. — (b) Froid et brumeux. Serein et chaud. — (c) Pluie la nuit précédente. Soleil magnifique tout le jour. — (d) Pas un seul nuage pendant tout le jour, beaucoup plus chaud que le 10. Le thermomètre s'étant cassé après 10 heures m., on n'a pu prendre note de la température de l'air depuis ce moment. La surface de l'eau en repos était à cette heure à (15°), et la surface du lit à (25° 5). — (e) Ondées chaudes. — (f) Temps chaud. Une ondée à 11 heures du matin. — (g) Chaud et sec. — (h) Très chaud, pas un nuage. — (i) Temps étouffant sans nuage. Légers nuages très élevés. Gros nuages au vent. Orage très fort, accompagné d'éclairs. Pendant une demi-heure, température de la pluie (25° 6); soleil brillant; on voit sortir la vapeur des mares et des fosses. — (j) Matinée superbe. — (k) Pas un nuage, temps chaud. Temps brumeux.

Il est bon de dire que ce terrain n'avait reçu aucune semence et qu'il ne portait aucune plante, mes observations ayant pour but de reconnaître l'influence des rayons solaires, de la pluie, de la rosée et autres agents atmosphériques, sur un sol nu, et, plus tard, muni d'un autre jeu de thermomètre, d'obtenir quelques données sur l'effet que pourrait ressentir la température de ce même sol en le mélangeant d'engrais ou de toute autre substance étrangère. De plus capables que moi jugeront si c'est là la meilleure marche à suivre; mais il me semble qu'il serait difficile de déterminer le véritable caractère physique d'un sol par un appareil établi au milieu d'un champ de blé. J'ai pensé qu'il était avant tout utile de rechercher les propriétés du sol naturel, puis celles de ce même sol mélangé à d'autres substances, avant de passer à l'étude de phénomènes semblables dans des sols semblables et cultivés.

Un expérimentateur adroit pourrait mener de front toutes ces observations, puisque, les thermomètres une fois établis, on n'a plus que des notes à prendre.

Je dois maintenant appeler l'attention du lecteur sur quelques conséquences qu'il se croirait autorisé à tirer des résultats notés dans le tableau précédent, malgré le temps très court de douze jours que dura l'observation.

1° La température constante de la tourbière naturelle, de 0^m.30 à 9^m de profondeur, était de 7°.8, et un thermomètre enfoncé à 0^m.178 de profondeur indiqua constamment 8°.2 pendant tout le temps que durèrent ces expériences.

Or le thermomètre placé à 0^m.787 dans le sol travaillé indiquait une température maximum de 9°, ayant ainsi graduellement gagné 1°.2, et il était visible qu'il montait encore. Le thermomètre placé à 0^m.178 au dessous de la surface s'éleva à 18°.9 par un orage, ce qui donnait un accroissement maximum à 9°.5, et, pour la moyenne de trente-cinq opérations, un accroissement de 5°.8 sur un thermomètre placé à la même profondeur dans la tourbière naturelle.

C'était une preuve évidente que l'accroissement de chaleur était

dû à l'influence météorologique, c'est-à-dire à une action de surface, et non à l'influence du sous-sol, puisque ce dernier avait invariablement et toujours une température plus basse, qui devait tendre nécessairement à diminuer plutôt qu'à élever la température acquise par le sol façonné. Nous pouvons donc conclure hardiment de ces faits que l'élévation de la température d'un sol a pour cause le changement apporté dans sa constitution mécanique par le drainage et l'ameublissement, attendu que celui-ci n'avait subi d'autres façons que celles destinées à l'ameublir et à lui enlever son excès d'eau.

2^o On peut même se permettre de conclure encore de ce petit nombre d'expériences que pendant le mois de juin l'eau de pluie sert de véhicule à la chaleur et la communique au sous-sol, dont elle élève la température, pendant que les rayons solaires restituent promptement aux couches superficielles la chaleur qu'elles ont perdue. L'inspection du tableau ne laisse aucun doute sur l'exactitude de ces conclusions. On voit qu'à la profondeur de 0^m.178, non seulement la température du sol variait considérablement d'un jour à l'autre en subissant l'influence atmosphérique, mais que ces variations étaient même très sensibles dans une même journée; que les variations étaient en raison inverse de la profondeur, et qu'à la profondeur de 0^m.787 seulement on eut à constater cette fois rien que de l'accroissement dans la température. La température est transmise de haut en bas si lentement par tous les corps en général, et particulièrement par les substances humides, qu'il semblerait que l'eau de pluie, quand elle peut traverser le sol, est l'agent propagateur de chaleur le plus actif pour le sous-sol. En effet, nous voyons que les thermomètres les plus profondément enfouis indiquent un accroissement de chaleur plus promptement acquis après la pluie que par un temps sec, et il est très vraisemblable que, si au lieu de courtes ondées nous eussions eu pendant ces observations une pluie de quelque durée, les thermomètres les plus bas auraient plus constamment senti cet effet, et auraient marqué une température en-

core plus élevée, car rien n'indiquait que l'eau fût parvenue jusqu'aux drains.

Le 11 juin, il m'a été possible de consacrer la journée entière à l'observation des thermomètres. Cet examen eut des résultats très intéressants, en ce qu'ils font voir la constance dans l'augmentation et la diminution de chaleur pendant tout un jour sans nuage, et indiquent le point maximum de température atteint par le thermomètre à une profondeur de 0^m.178 : ce qui a eu lieu à environ deux heures après midi.

Le 16, j'avais prévu la probabilité d'un orage, et je m'empressai d'aller examiner quelle influence il pouvait avoir sur le thermomètre. Il est curieux de remarquer que, lorsque la température du sol à 0^m.178 de profondeur eut atteint sous les influences indiquées son point maximum, la chute de la pluie l'éleva encore de 2°, et, chose remarquable encore, une demi-heure après la cessation de l'orage, le soleil venant à briller d'un éclat nouveau, et développant une évaporation rapide et active à la surface du sol, la terre, à la profondeur de 0^m.178, avait perdu 1°.90, ce qui démontre avec quelle promptitude l'eau absorbe la chaleur quand elle se change en vapeur. Il eût été intéressant aussi de constater, au moyen d'autres thermomètres, la température de la surface au moment où l'orage éclata, car la transition du beau au mauvais temps fut instantanée ; mais je n'avais point un assez grand nombre d'instruments.

Un effet important, qui doit se produire dans tous les sols convenablement façonnés pour recevoir la chaleur et l'eau et leur ouvrir un libre passage, est dû visiblement à la préparation du lit, c'est-à-dire que la transmission au sous-sol des accroissements de chaleur se fait pendant la seconde partie du jour et pendant la nuit entière, tandis que les couches supérieures (mais principalement celles à partir d'une profondeur de 0^m.178 en remontant vers la surface) perdent de leur chaleur par conductibilité ascendante et par le rayonnement dans l'espace.

L'effet contraire doit avoir lieu pendant les saisons froides, alors

que la chaleur accumulée et emmagasinée dans le sous-sol en sera tirée comme d'un réservoir, pour remplacer dans les couches superficielles la déperdition qui s'y effectue plus librement.

Comme j'ai moi-même critiqué les travaux et les expériences des autres ayant rapport à cette question, il est juste que je signale ce que mon travail laisse encore, selon moi, à désirer; et il laisse beaucoup, car on ne doit considérer mes expériences que comme un bien faible apport aux connaissances que nous possédons déjà sur ce sujet si intéressant, qui mérite vraiment qu'une étude nouvelle soit reprise, pour être, s'il est possible, suivie simultanément par plusieurs observateurs munis de tous les instruments nécessaires dont la science nous a dotés, et que d'habiles constructeurs peuvent aujourd'hui exécuter avec une rare perfection. Enumérer tous les phénomènes sur lesquels doit se fixer l'attention de l'observateur, indiquer les méthodes connues ou l'absence de moyens nécessaires pour mesurer la puissance de ces phénomènes, telle est peut être la forme la plus simple et la plus utile sous laquelle la critique puisse exercer une salutaire influence.

Nous avons donc besoin de connaître :

1° La température des sols à des profondeurs accessibles et profitables aux cultivateurs.

Dans ce cas, le thermomètre est bien suffisant. Il serait utile et intéressant de constater au moyen de cet instrument, enfoui à des profondeurs diverses jusqu'à un maximum de 2^m.40, la température de deux masses d'un même sol: l'une drainée, et l'autre pas. Des thermomètres, à minima et à maxima, construits *ad hoc*, indiqueraient les températures; mais ces instruments rendent l'observateur enclin à la paresse, et n'indiquent pas, chose essentielle, les heures du jour où se sont produites les températures minima ou maxima; ils ne font point connaître non plus les variations continuelles de température à des profondeurs différentes sous les influences successives du soleil et des nuages, de la pluie, du vent, et de tant d'autres chan-

gements atmosphériques qui demandent à être notés avec soin et exactitude.

2° La température de l'air à l'ombre et près du sol.

3° La pression de l'air (le baromètre suffit pour la déterminer).

4° La température de la pluie.

5° La quantité de pluie tombée, et constatée par une jauge.

6° La quantité d'eau fournie aux drains par une étendue de terre donnée, afin de la comparer avec la quantité d'eau tombée sur cette même surface.

Il y a beaucoup de cas où il sera facile et peu coûteux de constater ces résultats, et la connaissance de ces faits ouvrira alors à nos yeux un nouveau chapitre du livre de la nature où nous puiserons de nouvelles découvertes. Tout ce qu'on a écrit jusqu'à ce jour sur la quantité d'eau enlevée à la terre par les drains a été fait à un point de vue trop spéculatif et repose sur des bases trop peu sérieuses pour qu'on puisse y attacher grande importance, et, à mon avis, jamais on ne s'est livré à l'étude de ce phénomène dans le but de rendre service soit à la pratique, soit à la science de l'agriculture.

7° Le moment où il y a formation de rosée, qui devrait être déterminé à de fréquentes périodes de jour et de nuit.

Le meilleur hygromètre, celui de Daniell, quoique le plus simple et le plus correct, a encore le défaut de nécessiter une opération manuelle pour chaque détermination.

8° La quantité de rosée déposée. Nous ignorons complètement en quelle quantité se dépose cet élément fertilisant, qui renferme de véritables trésors. Quoique nous soyons bien convaincus des énormes difficultés à vaincre pour résoudre ce problème, aucune raison cependant ne nous fait désespérer de les surmonter, si les savants qui se livrent à l'étude de la météorologie veulent s'occuper de la construction d'un instrument convenable.

9° Les conditions hygrométriques du sol, entendant par ce terme la quantité d'humidité que peut contenir un sol, à quelque moment que ce soit. Dans un sol bien drainé, cette quantité dépendra de sa

nature spongieuse et de son pouvoir hygrométrique. Si l'on pouvait établir un instrument tel que par une simple inspection il indiquât les différents degrés d'humidité compris entre une extrême sécheresse et un état aqueux complet, de même que le thermomètre indique le degré de chaleur de la température, nous aurions alors à notre disposition deux moyens aussi simples qu'efficaces pour étudier complètement et promptement les principaux phénomènes dont dépend la température des sols. Nous pourrions alors rechercher avec chance de succès l'explication de certaines causes et de certains degrés de fertilité; nous aurions en notre possession une méthode expéditive pour déterminer ce qu'il serait nécessaire d'ajouter à un sol donné afin d'accroître ses propriétés et sa puissance fructifiante.

A l'époque où nous vivons, à peine a-t-on exprimé un souhait de ce genre que déjà il est à moitié exaucé. On peut donc espérer que la science ne fera pas long-temps attendre un instrument qui serait si précieux entre les mains d'un agriculteur intelligent et éclairé.

Là s'arrêtait la tâche que je m'étais d'abord tracée, considérant alors la matière comme épuisée. Cependant, ayant eu depuis entre les mains un recueil d'observations qui démontrent avec une grande netteté la nécessité qu'il y a de drainer les sols rétentifs, un simple calcul d'arithmétique pouvant faire connaître la quantité d'eau de pluie qui s'évapore annuellement de la masse du sol aux profondeurs accessibles à l'agriculture, et, par suite, celle qui passe à travers les sols poreux ou reste stagnante dans les sols rétentifs, j'ai ajouté le chapitre suivant à la discussion qui précède, comme servant à établir certaines statistiques de drainage, ou, pour me servir d'une autre expression, « ouvrir un compte de débit et de crédit entre la terre et le ciel. »

CHAPITRE V.

DE LA QUANTITÉ D'EAU DE PLUIE COMPARÉE A LA QUANTITÉ D'EAU ÉVAPORÉE DU SOL OU QUI S'Y EST INFILTRÉE; QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA QUANTITÉ D'EAU DE PLUIE ÉCOULÉE PAR LES DRAINS.

C'est à M. John Dickinson (fabricant de papier distingué), d'Abbot's hill, près de King's Langley, comté de Herts, que l'on doit les tableaux suivants, comprenant, pour une période de huit années, la quantité de pluie tombée dans sa localité et la quantité présumée avoir passé à travers le sol. La première colonne du tableau contient les indications fournies par la jauge à pluie ordinaire; les données de la seconde colonne furent obtenues par une jauge imaginée depuis bien des années pour cet objet spécial par Dalton. Ces renseignements inattendus, basés sur un grand nombre de faits et sur des expériences nombreuses, nous donnent la solution des questions posées au chapitre précédent sous les n^{os} 5 et 6 (page 163). La construction de la jauge ordinaire à pluie n'exige, pour être comprise, aucune explication. Quant à celle de Dalton, qui est aussi très simple, elle consiste en un cylindre ouvert par le haut, que l'on enterre verticalement jusqu'à ce que son orifice soit au niveau du sol; ce cylindre est muni d'un faux fond, perforé comme une passoire, sur lequel repose une épaisseur de 0^m.90 de terre provenant du sol sur lequel on expérimente. La portion de l'eau de pluie qui est tombée dans le cylindre et qui n'a point été évaporée filtre à travers cette terre, et tombe entre le faux fond à jour et le fond du récipient.

A l'aide d'un petit tuyau, cet excès d'eau communique avec un tube verticalement enfoncé en terre, de telle sorte que son ouverture supérieure est à peu près de niveau avec le fond du cylindre. La section de ce tube est, bien entendu, dépendante de la section du cylindre. Ainsi, toute l'eau qui filtre à travers la terre se rend

dans ce tube, où elle est mesurée à l'aide d'un petit flotteur qui porte une tige divisée, indiquant en centimètres et millimètres la quantité de liquide recueillie. En bas du tube se trouve naturellement un petit robinet de vidange qui sert à écouler l'eau, et ramène alors la tige graduée à zéro.

La jauge dont M. Dickinson a fait usage avait un diamètre de 0^m.30 et une hauteur de 0^m.90 de l'orifice supérieur au faux fond. Au début des expériences, elle fut remplie avec le sol du pays, espèce de terre grasse sablonneuse et graveleuse, sur la surface de laquelle l'herbe a constamment poussé. En conséquence, le contenu de l'appareil représente bien identiquement l'état naturel de ce genre de sol, et la jauge indique très approximativement la quantité d'eau qu'un drain de 0^m.90 de profondeur aurait à évacuer dans un tel terrain. On obtient cette quantité en comparant ensemble les résultats fournis d'une part par la jauge à pluie ordinaire et ceux fournis par la jauge de Dalton. La différence entre ces deux nombres donne la quantité du liquide absorbé par évaporation et absorbé aussi par les plantes. Mais, dans le cas actuel, il est inutile d'établir ces différences d'action, et l'on peut confondre le tout sous le nom d'évaporation.

Il sera utile et intéressant pour les cultivateurs de leur faire connaître dans quel but M. Dickinson, un manufacturier, a entrepris ces expériences, et quel résultat il voulait atteindre en observant et en prenant note des phénomènes de cette nature. Possesseur de plusieurs moulins sur la rivière Colne et ses affluents, il lui importait au plus haut point de savoir sur quelle puissance il pouvait compter pour les besoins de ses usines à différentes époques de l'année. Ayant remarqué qu'en raison de l'étendue et de la constitution géologique du pays, les sources ne donnaient que long-temps après la chute de l'eau, il installa les deux jauges dont nous venons de parler, afin d'arriver à estimer (autant que possible) l'importance et la durée de leur effet, variable bien entendu, avec les saisons, et d'induire ainsi la puissance proportionnelle sur laquelle il pouvait compter.

ter. Les indications qui lui ont été ainsi fournies par l'observation lui ont permis depuis de régler ses opérations manufacturières, de prévoir à l'avance jusqu'à quel point il pouvait compter sur ses chutes d'eau, et quel surcroît de puissance il devrait emprunter à la vapeur pour exécuter ses commandes et remplir ses engagements. C'est là certainement un exemple à citer, très honorable pour son auteur, et très remarquable comme application de la science météorologique à la pratique industrielle.

Ce n'est pas tout : car les résultats acquis à l'aide de ces instruments sur la chute et l'infiltration de la pluie, joints à une connaissance parfaite de l'étendue et de la nature des sols du district qui alimentent les chutes (environ 13,677 hectares), permirent, il y a deux ans, à M. Dickinson, de démontrer ce qu'il y avait d'impraticable dans un projet qui avait pour but de fournir à la métropole de l'eau tirée de la vallée de la Colne, ce qui eût inévitablement causé un tort irréparable aux propriétaires de moulins, en même temps que, selon toute probabilité, la spéculation eût complètement avorté. Tels sont les fruits souvent inattendus que l'on retire de connaissances exactes. L'année dernière, M. Dickinson donna communication de ses expériences à l'Institut des ingénieurs civils, et ce fut à cette occasion que j'eus l'honneur de faire sa connaissance, ce qui me permit de faire application de ses observations au drainage agricole.

Le tableau n° 1) contient les indications mensuelles et annuelles des deux jauges pour les années de 1836 à 1843 inclusivement; celles de la jauge à pluie ont été, en général, à ce que m'a assuré M. Dickinson, corroborées par les indications fournies par une autre jauge, installée par la compagnie du grand canal de jonction à 13 kilomètres de distance.

Le n° 2) donne pour chaque mois la moyenne des résultats obtenus pendant cette période d'observations de huit années; il indique la quantité d'eau tombée à la surface du sol, la quantité qui a filtré à travers la jauge de Dalton et la quantité rendue à l'atmosphère par l'évaporation. Deux colonnes indiquent en quatre le tant pour cent

fourni à la filtration et à l'évaporation sur le total de la pluie tombée à la surface.

Le n° 3 donne le total de l'eau tombée pendant une année entière, avec le tant pour cent évaporé ou infiltré.

Le n° 4 donne les mêmes indications pour les six mois les plus chauds et les six mois les plus froids, et pour chaque année séparément.

A ces dernières tables j'ai ajouté des colonnes indiquant le poids en tonnes et par hectare de la pluie tombée, pensant que cette manière de présenter les résultats donnera au fermier une idée plus claire, et lui fera sentir plus nettement l'importance de ces observations, que le mode ordinairement employé, c'est-à-dire une hauteur d'eau en centimètres pour une surface donnée. Au moyen de ces tables analytiques, nous aurons clairement sous les yeux tous les phénomènes, et nous pourrons juger facilement de leur application à l'agriculture.

Description	1861		1862		1863	
	Centimètres	tonnes	Centimètres	tonnes	Centimètres	tonnes
Total	1000.0	10000.0	1000.0	10000.0	1000.0	10000.0
Evaporé	200.0	2000.0	200.0	2000.0	200.0	2000.0
Infiltré	800.0	8000.0	800.0	8000.0	800.0	8000.0
Pluie tombée	1000.0	10000.0	1000.0	10000.0	1000.0	10000.0
Température moyenne	15.0		15.0		15.0	
Humidité relative	70.0		70.0		70.0	
Direction du vent	N		N		N	
Vitesse du vent	10.0		10.0		10.0	
Direction de la pluie	N		N		N	
Force de la pluie	10.0		10.0		10.0	

TABLE N° 1.

MOIS	1836		1837		1838		1839		1840		1841		1842		1843	
	Jauges		Jauges		Jauges		Jauges		Jauges		Jauges		Jauges		Jauges	
	Pluie	Dalton														
Janvier	m 0.061	0.039	m 0.061	0.033	m 0.008	0.0010	m 0.036	0.026	m 0.400	0.077	m 0.038	0.038	m 0.035	0.015	m 0.037	0.032
Février	0.032	0.032	0.072	0.074	0.067	0.022	0.037	0.038	0.034	0.025	0.026	0.026	0.051	0.053	0.062	0.030
Mars	0.093	0.064	0.020	0.0002	0.039	0.069	0.049	0.031	0.009	»	0.042	0.013	0.036	0.041	0.022	»
Avril	0.065	0.044	0.034	»	0.034	»	0.042	0.018	0.009	»	0.047	»	0.012	»	0.033	»
Mal	0.048	0.0007	0.024	»	0.021	»	0.031	0.0025	0.067	»	0.043	»	0.047	»	0.127	0.019
Juin	0.046	0.0002	0.047	»	0.072	»	0.084	8.0013	0.033	»	0.076	»	0.031	»	0.040	0.006
Juillet	0.058	0.0025	0.033	»	0.060	0.0023	0.111	0.0038	0.040	»	0.071	»	0.049	»	0.053	»
Août	0.057	0.0037	0.076	0.0013	0.024	»	0.093	0.0023	0.048	»	0.092	»	0.036	»	0.068	»
Septembre	0.066	0.0017	0.035	0.0013	0.063	0.0008	0.082	9.038	0.039	»	0.102	»	0.114	0.033	0.016	»
Octobre	0.116	0.097	0.039	0.0005	0.068	0.0318	0.043	0.0023	0.038	»	0.112	0.152	0.036	0.008	0.122	0.023
Novembre	0.400	0.080	0.052	0.0046	0.090	0.074	0.112	0.119	0.108	0.065	0.109	0.124	0.447	0.127	0.062	0.069
Décembre	0.056	0.044	0.043	8.0411	0.040	0.047	0.077	0.095	0.010	0.040	0.058	0.071	0.039	0.21	0.010	0.008
	0.788	0.4488	0.536	0.1760	0.586	0.2179	0.797	0.3772	0.545	0.207	0.816	0.360	0.673	0.298	0.672	0.2074

TABLE N° II.

MOYENNE DE CHAQUE MOIS ET DE HUIT ANNÉES				
Pluie	Filtration	Evaporation	Filtration	Evaporation
m	m	m	010	010
0.0469	0.0332	0.0137	70.7	29.3
0.0501	0.0393	0.0108	78.4	21.6
0.0411	0.0273	0.0137	66.6	33.4
0.0370	0.0078	0.0292	21.0	79.0
0.0471	0.0027	0.0444	5.8	94.2
0.0562	0.0010	0.0552	1.7	98.3
0.0581	0.0011	0.0570	1.8	98.2
0.0616	0.0009	0.0607	1.4	98.6
0.0670	0.0094	0.0577	13.9	86.1
0.0717	0.0356	0.0361	49.5	50.5
0.0975	0.0828	0.0147	84.9	15.1
0.0417	0.0458	0.0042	100.0	0.00
0.6760	0.2869	0.3974	41.3	58.7

TABLE N° III.

TOTAL DE CHAQUE ANNÉE				
Années	Pluie	Filtration	Evaporation	Pluie par hectare
1836	0.787	56.9	43.1	7473
1837	0.536	32.9	67.1	5360
1838	0.588	37.0	63.0	5874
1839	0.795	47.6	52.4	7945
1840	0.545	38.2	61.8	5445
1841	0.815	44.2	55.8	8154
1842	0.672	44.4	55.6	6711
1849	0.673	36.0	64.0	6722
Moyenne	0.676	42.4	57.6	6759

TABLE N° IV.

AVRIL A SEPTEMBRE INCLUSIVEMENT.							
Années	Pluie	Filtration	Evaporation	Filtration	Evaporation	Pluie filtrée par hectare	Pluie évaporée par hectare
	m	m	m	0/0	0/0	m. c.	m. c.
1836	0.310	0.053	0.256	17.3	82.7	532	2566
1837	0.249	0.003	0.247	1.0	99.0	25	2163
1838	0.274	0.003	0.271	1.2	98.8	30	2724
1839	0.442	0.066	0.376	15.0	85.0	660	3762
1840	0.246	0.000	0.246	0.0	100.0	»	2438
1841	0.387	0.000	0.387	0.0	100.0	»	3875
1842	0.309	0.033	0.276	10.7	89.3	328	2756
1843	0.356	0.025	0.331	7.1	92.9	251	3315
Moyenne	0.322	0.027	0.299	7.1	92.9	228	2990

OCTOBRE A MARS INCLUSIVEMENT.							
1836	0.478	0.395	0.083	82.7	17.3	3947	828
1837	0.287	0.174	0.113	60.6	39.4	1738	1134
1838	0.313	0.214	0.098	68.8	31.2	2144	986
1839	0.352	0.313	0.040	88.2	11.8	3125	399
1840	0.299	0.208	0.091	69.6	30.4	2079	908
1841	0.428	0.360	0.067	84.2	15.8	3604	675
1842	0.363	0.266	0.097	73.2	26.8	2656	971
1843	0.316	0.181	0.135	57.2	42.8	1806	1349
Moyenne	0.322	0.264	0.090	74.5	25.5	2638	903

NOTA. Les quantités de pluie dans les colonnes intitulées Filtration représentent l'action re-
 quise des drains dans les sols rétentifs. Une hauteur de 0^m.00254 de pluie équivaut à 25^{mc}.40 par
 hectare.

La première remarque importante qui résulte de l'inspection de ces tableaux, c'est que, sur la totalité de l'eau tombée pendant une année entière, 42 1/2 p. 100 environ, ou 0^m.287 sur 0^m.675, ont filtré à travers le sol, et que la force évaporative n'enlève environ que 57 1/2 p. 100 de l'eau tombée sur une surface donnée de 0^m.90 de profondeur (T. 2).

En étudiant de plus près, on voit (T. 4) qu'environ 25 1/2 p. 100 seulement de la pluie tombée depuis octobre jusqu'en mars inclusivement est pendant cette même période rendue à l'atmosphère sous forme de vapeur, tandis que, d'avril à septembre inclusivement, l'évaporation est de 93 p. 100, ce qui laisse encore quelque chose en faveur de l'eau non évaporée pendant les six mois les plus chauds de l'année; et nous ne voyons que les années 1840 et 1841 pendant lesquelles, et pour cette dernière période, aucune filtration n'aurait eu lieu. Le n^o 2 fait voir qu'en août, le sol a son maximum de sécheresse, et pourtant quelques filtrations se sont produites à cette époque pendant trois saisons sur huit. Bien que l'équilibre semble exister entre la pluie et l'évaporation pour les six mois les plus chauds de l'année, on comprend que l'état hygrométrique du sol, c'est-à-dire son état de sécheresse ou d'humidité plus ou moins grande à un moment donné, ne peut être déterminé à l'aide de l'appareil de Dalton. Un sol, selon la saison, peut être, pendant ces mois et à différentes époques, dans un état de sécheresse complète ou de saturation humide; mais il résulte de l'inspection de ces tableaux que, si toute l'eau provenant de la pluie pendant les six mois les plus froids pouvait s'accumuler dans un sol, cette terre devra nécessairement être perpétuellement *mouillée*, et si je compare maintenant ce fait avec l'action des drains, ce qui m'est possible aujourd'hui, on voit que, pendant six mois de l'année, un sol rétentif non drainé est maintenu par la force seule de l'évaporation dans un état assez uniforme d'humidité, tandis que des drains couverts et profonds débarrassent, en très peu d'heures ce même sol de l'humidité produite par une pluie abondante, cela même pendant la saison la

plus humide. La table 4 fait voir que l'excès moyen de l'eau de pluie dont il faut se débarrasser autrement que par l'évaporation naturelle pendant les six mois les plus froids de l'année s'élève au poids important d'au moins 2635 tonnes par hectare.

L'évaporation est donc le seul agent *naturel* qui puisse diminuer l'excès d'eau d'un sol rétentif, et encore il n'est point à notre disposition ; et lorsque des sols de cette nature arrivent à un point complet de saturation, il faut que l'excès d'eau reste stagnant à la surface ou qu'il y trouve un écoulement : car nous avons prouvé que l'influence de l'évaporation, qui est à peine suffisante pendant les six mois les plus beaux de l'année, devient considérablement impuissante pendant les six autres mois, froids et humides. L'emploi des drains souterrains est donc une méthode artificielle dont l'efficacité est incontestable pour compenser l'insuffisance de l'évaporation ; dans nos climats et avec ce puissant auxiliaire, il est possible de placer les sols rétentifs dans des conditions aussi favorables, sous le rapport de l'influence météorologique et de l'action de tout procédé agricole, que les sols naturellement poreux et libres de toute eau stagnante. Mais il ne faut pas oublier que, pour obtenir de ce procédé artificiel des effets semblables à ceux qui se produisent dans un sol de nature poreuse, les drains doivent être profonds : car le fond des drains est la limite de leur action ; et détermine la profondeur au dessous de la surface à laquelle l'eau peut alors, sans inconvénient pour l'agriculture, demeurer dans un état presque constant d'excès et de stagnation.

L'étude des résultats consignés dans ces différents tableaux peut fournir une foule de remarques, toutes importantes pour l'agriculteur, en ce qu'ils corroborent ce que la pratique a dû lui apprendre, c'est-à-dire à profiter de toutes les influences naturelles pour mettre son sol dans les meilleures conditions possibles, en tirer avantage et se mettre à l'abri autant que faire se pourra du mal qu'elles pourraient engendrer ; car les saisons sont tellement variables, qu'il n'est point de moyenne capable de représenter les variations météorologi-

ques. Il semble, d'après la table n° 1, que l'écoulement des eaux par les drains a lieu en moyenne pendant sept mois de l'année. En 1840 et 1841, cependant, la pluie ne fut supérieure à l'évaporation que pendant quatre mois seulement, quoique pendant la première année il ne tomba que $0^m.545$, tandis que, pendant la seconde, la terre en reçut $0^m.815$, soit 50 p. 100 dans l'une de plus que dans l'autre; et cependant la moyenne de la sécheresse du sol pendant ces deux années fut absolument la même pour les six mois les plus chauds, car la force d'évaporation vint compenser cette différence, soit de $0^m.395$ en 1841, et de $0^m.244$ seulement en 1840. Mais si l'on examine les six mois les plus froids de ces mêmes années, nous trouvons que l'inverse a eu lieu, c'est-à-dire que l'évaporation relative fut en 1840 le double de celle de 1841.

On voit aussi qu'en 1836, alors que la pluie n'avait que $0^m.025$ de moins que le maximum de 1841, la force évaporative fut moindre de 13 p. 100, et l'eau filtra à travers la jauge en proportions différentes pendant chaque mois de cette année; il en fut de même en 1839. Ainsi, en disposant un sol pour que la pluie y exerce une salutaire influence, et qu'il en subisse le moins de mal possible, on devra le mettre en état de se refuser à la rétention de tout excès d'eau, et le rendre capable au contraire d'absorber librement l'humidité, de l'accumuler profondément, en même temps que les drains seront disposés de manière à recueillir cette eau avec la plus grande facilité et à l'évacuer promptement.

Observations sur la quantité de pluie évacuée par les drains.

Les quantités de pluie et de filtration indiquées par les jauges de M. Dickinson sont notées pour chaque jour : c'est ce qui m'a permis de reconnaître une coïncidence remarquable entre la jauge de Dalton et celle de M. Hammond, laquelle consiste en tuyaux de drains de $0^m.025$. D'après la jauge à pluie, il serait tombé les 7 et 8 novembre 1848 $0^m.012$ de pluie, et le 9 du même mois $0^m.0117$, et la presque-totalité de cette quantité aurait traversé la jauge de Dalton. Ce fut ce jour-là que je visitai le drainage de la ferme de M. Ham-

mond, après une pluie qui, le 7 novembre, avait duré pendant 12 heures consécutives : j'y trouvai le 9 les drains, à 0^m.90 de profondeur dans une pièce de 360 hectares, ne faisant plus couler l'eau que goutte à goutte ; tandis que ceux d'un champ de houblon contigu, placés à 1^m.20 de profondeur, étaient déjà complètement épuisés. M. Hammond avait déjà observé, avant mon arrivée, que le jet le plus fort qui fût jamais sorti de ces drains ne remplissait les tuyaux de 0^m.025 avec lesquels ils étaient faits qu'à moitié environ de leur section. C'est pourquoi les temps employés par la jauge et par les drains pour décharger l'eau d'infiltration peuvent être considérés comme identiques et d'une durée de 48 heures environ à partir du commencement de la pluie. En partant de ce principe, je présume que la pluie a dû tomber en quantités égales à Penshurst et à King's Langley. Je pense n'être pas éloigné de la vérité, car j'ai appris que la pluie était tombée au nord de Birmingham à peu près dans les mêmes proportions, puisqu'on y a constaté une hauteur d'eau de 0^m.0126 ; il en fut de même dans le sud de Brighton, où la pluie a duré le même temps. Cette donnée expérimentale, constatant l'action suffisante de si petits drains, ne peut manquer de frapper l'esprit des hommes pratiques ; mais je suis à même de démontrer, à l'aide d'un simple calcul arithmétique, combien est minime la quantité d'eau qu'il suffit de laisser passer à travers l'interstice de jonction imparfaite de deux tuyaux. En effet, la jauge à pluie indique que la quantité d'eau tombée est par mètre carré, en 12^h heures, de 11^{lit}.625 ou 11^l.625, ou, par heure, environ 0^l.96875.

Les drains étaient espacés de 6^m.70 ; chaque tuyau avait 0^m.30 de long ; de sorte que chaque 0^m.30 linéaire avait à recevoir l'eau tombant sur une surface de $6^m.70 \times 0.30 = 2^m.01$, c'est-à-dire un poids de 23^{lit}.366. Or, comme cette quantité de liquide a mis 48 heures pour traverser le sol et disparaître, il en résulte qu'il est entré dans les drains et par chaque jonction de tuyaux 0^{lit}.484 par heure. Tout le monde sait d'ailleurs, sans en avoir fait une expérience bien rigoureuse, combien est petit un trou qui laisse écouler

en une heure un tel volume, qui ne fait que 0^l.008 par minute, ou environ deux fois plein un dé. Le poids de la pluie qui tomba par hectare en l'espace de 12 heures s'éleva à 121^{mc}.944, ce qui donne, pour 3^{hect}.636, ^{mc} 443.862; chaque drain écoula 19^{mc}.30, soit par heure 400 litres, en moyenne, pour les 48 heures. Mais je trouve qu'au moment où le courant était le plus fort, chaque drain a dû charier par heure cinq fois cette quantité; ce qui prouve la faculté qu'ont les tuyaux d'évacuer en 12 heures une pluie donnant 0^m.063 (au lieu de 0^m.012), quantité d'eau inconnue à nos climats, pour lesquels une pluie de 0^m.012 est déjà extraordinaire. J'apprends encore des observations de M. Dickinson que jamais le jauge n'a indiqué une pluie assez forte pour s'élever à 0^m.037 en vingt-quatre heures, et le Dr Ick, administrateur de l'institut philosophique de Birmingham, m'assure de son côté que, pendant la même période de huit années, la pluie n'a jamais dépassé une hauteur de 0^m.025 en 24 heures, dans cinq circonstances excepté : le 4 décembre 1841, par exemple, où elle atteignit 0^m.040, hauteur maxima. En conséquence, il faut admettre comme un fait acquis que les tuyaux de 0^m.025 de diamètre sont parfaitement suffisants pour les opérations agricoles de drainage.

Je vais maintenant décrire une expérience que tout fermier peut faire facilement, et dont il tirera un grand fruit : car elle ne peut manquer de l'éclairer sur l'action des drains et sur l'effet qu'ils produisent, sur la plus ou moins grande porosité ou activité filtrante de diverses pièces de terre. Il suffit pour cela de mesurer tout simplement la quantité d'eau que fournissent dans un même temps différents drains après une pluie. Bien souvent j'ai cherché à me renseigner sur ce sujet, et je n'ai jamais pu obtenir de renseignements suffisants, si ce n'est cependant de M. Hammond, qui, poussé par son intelligence éclairée, avait eu l'idée de faire quelques observations dans ce sens, sans y avoir été engagé par personne. Voici du reste comment il s'exprime lui-même : « Après les dernières pluies (17 février 1844), je constatai qu'un drain de 1^m.20 donnait 4^{lit}.543

d'eau pendant qu'un autre de 0^m.90 en débitait 2^{lit}.272, quoique espacés également. »

Les circonstances pendant lesquelles eut lieu cette expérience et la manière dont elle a été suivie méritent une attention toute particulière. Le lieu d'expérimentation était ce champ de houblon dont nous avons eu déjà occasion de parler, et qui avait été drainé il y a trente-cinq ans à une profondeur variable de 0^m.60 à 0^m.75; quoique ces drains eussent été placés très irrégulièrement, ils avaient néanmoins continué de fonctionner d'une manière satisfaisante. M. Hammond cependant soupçonnait que les plantes et le sol lui-même souffraient encore par suite de l'eau de fond, qu'il savait stagnante au dessous des vieux drains; il sous-draina donc cette pièce en 1842, et plaça dans les drains, les uns de 0^m.90, les autres de 1^m.20 de profondeur, des tuyaux de 0^m.0025 de diamètre, et obtint des résultats complets. Les drains anciens n'avaient point été détruits, mais pourtant, depuis cette époque, ils ont complètement cessé de fournir de l'eau, et, comme on devait bien s'y attendre, ce furent les drains nouveaux et profonds qui débitèrent tout le liquide.

La distance entre les nouveaux drains est de 7^m.90; leur longueur de 137^m. La pente est identique pour tout le champ; le sol est argileux. L'expérience fut faite sur deux drains voisins, c'est-à-dire sur le dernier de la série de ceux de 0^m.90 de profondeur, et sur le premier de la série suivante, de 1^m.20 de profondeur. La somme du liquide fourni par ces deux drains en une heure était, au moment de l'expérience, de 441^{lit}.675; ou, par hectare et en vingt-quatre heures, de 148^{mc}.931; la proportion était de 30^{me}.111 par le drain de 1^m.20 et de 18^{mc}.820 par celui de 0^m.90; et il a été bien constaté que nulle source ne pouvait influencer les résultats. Ceci révèle donc parfaitement deux phénomènes, à savoir: que le drain le plus profond recevait plus d'eau, et qu'il en écoulait une plus grande quantité dans un temps donné. Comme d'ailleurs les deux drains étaient alimentés par d'égales surfaces, il faut nécessairement en conclure,

ou que le drain le plus profond avait le pouvoir d'attirer l'eau d'une distance horizontale plus grande que le drain le moins profond, ces distances étant dans le rapport de 8 à 5, ou que la descente perpendiculaire de l'eau était plus rapide dans le drain de 1^m.20, ou enfin que son débit plus puissant était dû à ces deux causes réunies. Ce fait, qu'un drain profond attire l'eau d'un sol à une plus grande distance qu'un autre drain moins profond, est du reste parfaitement d'accord avec les lois de l'hydraulique et a été constaté nombre de fois sur des puits, etc.; mais la cause qui fait qu'un drain profond reçoit *dans le même temps* et débite plus d'eau qu'un drain moins profond n'est point tout à fait aussi claire : on devrait plutôt s'attendre à un résultat tout contraire, en ce que l'eau qui tombe à la surface une plus grande masse de terre à travers perpendiculairement et horizontalement pour gagner le fond du drain. Un sol poreux ressemble à un filtre artificiel, et il est hors de doute que, plus un filtre est profond, plus l'eau est lente à le traverser. Cependant, dans les terres grasses et fortes, les argiles, et plus particulièrement dans ces dernières, lorsque la cohésion cesse, c'est-à-dire lorsque l'eau de pluie les pénètre et s'en échappe à l'aide de ce réseau de crevasses et de fissures qu'y détermine dans la masse le retrait de la matière causé par l'action réunie des drains et de l'évaporation superficielle, ces fissures semblent suppléer à la porosité dans des sols de cette nature, et servir à conduire rapidement l'eau jusqu'aux drains dès qu'elle a ruisselé à travers ce réseau. Il est possible aussi que, dans des argiles d'une certaine texture, ces fissures soient d'autant plus larges et plus nombreuses, qu'une plus grande masse de terre est soumise à la contraction; dans ce cas, un drainage profond doit fournir plus qu'un autre plus superficiel. Quoi qu'il en soit, plusieurs cultivateurs intelligents du comté de Kent, qui ont fait drainer profondément des sols de nature forte et argileuse, affirment qu'après une pluie les drains les plus profonds commencent toujours à débiter les premiers, et cessent aussi de couler avant les

drains de moins grande profondeur. Après l'hiver prochain, j'espère être en mesure d'offrir de nombreuses observations faites sur cet intéressant sujet, qui n'a pas encore été étudié.

En général, sous le rapport de la profondeur des drains, on a trop souvent sacrifié une bonne exécution aux exigences d'une culture spéciale, aux instruments dont on disposait, et surtout au désir bien naturel, mais souvent dangereux, de restreindre la dépense quand les matériaux à employer étaient chers, et que les travaux de la terre coûtaient beaucoup.

Ces circonstances accessoires ont certainement contribué à faire perdre de vue les vrais principes qui doivent être la base du drainage, et qui seuls peuvent lui faire produire tous les avantages qu'on est en droit d'en attendre. La question de distance entre les drains est très importante sous le rapport de la dépense, et il sera toujours sage de se tromper du bon côté et de rester dans de saines limites; mais on ne peut remédier à l'insuffisance de la profondeur que par de nouvelles dépenses, et nous savons que beaucoup d'agriculteurs ont été forcés d'approfondir leurs drains, tandis que jamais un seul n'a été obligé de relever des drains profonds pour les rapprocher de la surface ou de les rapprocher les uns des autres. Il est hors de doute que le drainage profond a pris une plus grande extension depuis l'heureux emploi des tuyaux en terre cuite, légers et livrés à bas prix, les travaux de terrassement devenant alors moins considérables, à cause de la petite dimension de ces tuyaux et de la facilité qu'on a de les poser. Toutes ces dépenses se trouvant ainsi restreintes, les fermiers ont pu s'attacher plus exclusivement et plus attentivement à la perfection du but qu'ils se proposaient. Il est curieux de remarquer que l'expérience et l'observation ont fait cependant adopter le système de drains profonds et disposés parallèlement, jusque alors moins fréquemment exécuté que celui que prénaient certains draineurs, et qui avait été communément sanctionné par l'usage. Dans mon rapport de l'année dernière,

(1847), que j'ai déjà cité plusieurs fois, j'ai donné quelques exemples de l'application de ce système dans le comté de Kent, où il se propage rapidement.

M. Hammond (*Journal*, vol. IV, page 47) nous apprend qu'il a drainé des argiles fermes à 0^m.60 de profondeur, les drains étant espacés de 7^m.30, à raison de 198 fr. par hectare, et des sols poreux à 0^m.90 de profondeur et 10^m.18 de distance entre les drains pour 139 fr. 43 c. par hectare. Aujourd'hui je vois qu'il continue son drainage à 1^m.20 de profondeur partout où il peut trouver une issue pour l'écoulement, guidé par cette conviction, basée sur l'expérience résultant d'une étude progressive, et faite avec la plus grande circonspection, que, si l'on considère la profondeur et la distance dans l'exécution d'un drainage, des drains profonds seront toujours plus économiques en même temps qu'ils donneront des résultats plus efficaces. Il a reconnu le bon effet produit par des drains de 1^m.20 placés à 15^m.25 d'écartement dans des sols de texture variée, autres que les argiles uniformes, et il les exécute à raison d'environ 139 fr. par hectare, dont 56 fr. 25 c. pour 2151 tuyaux, et 82 fr. 75 c. pour la fouille. J'ai appris de plusieurs fermiers respectables du comté de Kent que des drains profonds de 9^m à 12^m d'écartement placés dans des argiles de Weald fonctionnaient d'une manière satisfaisante; mais je n'ai point eu occasion de visiter ces drainages (1).

La petite table suivante donne les prix actuels et respectifs des trois cas de sous-drainage cités et calculés sur les effets réellement produits, c'est-à-dire sur les masses de terre réellement débarrassées de leur excès d'eau pour une même dépense. Je crois que c'est là la seule bonne méthode d'exprimer le travail fait, car le simple énoncé du prix d'un drainage par hectare ne donne qu'une idée très imparfaite et même très erronée de la dépense substantielle et utile d'un système particulier. Cela paraîtra évident si l'on consulte les deux

(1) Ce prix de revient ne peut s'appliquer qu'à ce cas particulier.

dernières colonnes de la table, qui donnent les quantités en mètres cubes et mètres carrés du sol drainé pour 1 fr., aux prix, profondeurs et distances indiquées plus haut.

Profondeur des tranchées.	Distance entre les tranchées.	Cube drainé par hectare.	Prix de l'hectare.	Cube drainé pour 1 f.	Surface drainée pour 1 f.
0m.60	7m.30	6000 ^{m^c}	198 ^f	30 ^{m^c} .303	50 ^{m^q} 504
0.90	10.18	9000	139.43	64.548	110.000
1.20	15.25	12000	139 »	88.692	147.816

Je dois faire observer ici que M. Hammond, lorsqu'il draine des argiles tenaces, choisit le mois de février pour exécuter les travaux et placer les tuyaux (qu'il couvre simplement d'argile pour y empêcher l'introduction de fragments quelconques); puis il laisse les tranchées ouvertes jusqu'à la fin de mars si le temps est sec, trouvant que par ce procédé les gersures du sol se font plus promptement, et que l'action des drains se trouve ainsi avancée d'une saison. Il est hors de doute que l'on peut activer le gersement de la terre en choisissant pour faire les drains l'époque de l'année la plus convenable, et en disposant la surface des tranchées de manière à l'exposer à toute la force de l'évaporation atmosphérique.

Par l'inspection des tables qui précèdent, on voit que la moyenne qu'elles indiquent pour la pluie tombée annuellement est au dessous de la moyenne de l'Angleterre, tandis que la puissance d'évaporation est très vraisemblablement plus élevée que la moyenne indiquée; on peut donc s'attendre à ce que les sommes mensuelles, et même annuelles, de filtration et d'évaporation, varieront considérablement avec la latitude, la localité et le sol où l'on expérimentera, et les résultats constatés pourront alors n'avoir rien de commun avec ceux consignés dans ces tables. Si de telles observations étaient faites sur différents sols et en différentes parties d'une même contrée, et qu'ont tint compte en même temps des indications données par des thermomè-

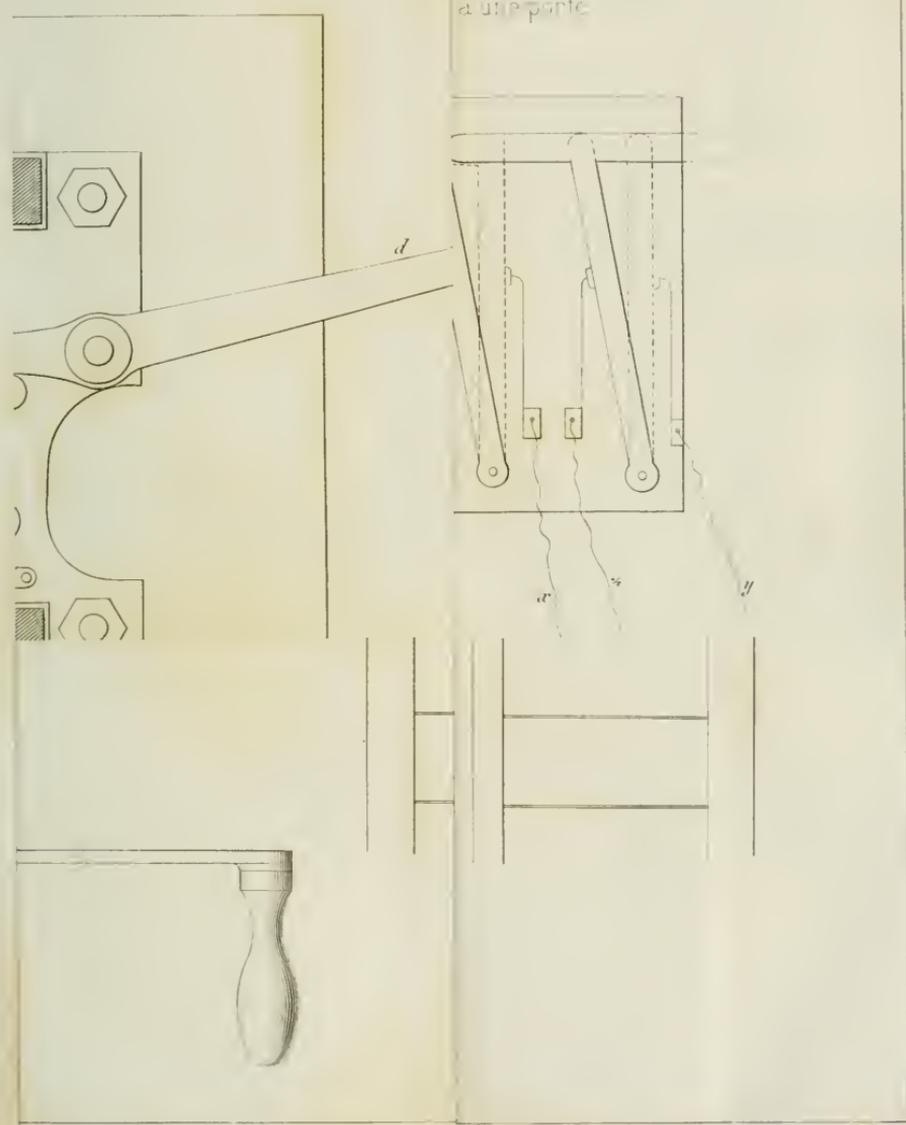
tres enfouis dans la terre, nous arriverions bientôt à connaître cet état du sol que l'on peut très justement appeler son *climat*, sur lequel les phénomènes purement météorologiques ne peuvent rien nous apprendre, et lequel a pourtant, comme on le sait, une immense influence sur le climat atmosphérique du district dont il fait partie.

Pendant de longues années, les météorologistes ont soigneusement noté la quantité représentant la force de l'évaporation terrestre, qu'ils mesuraient à l'aide de la jauge inventée par M. Luke Howard, et l'ont toujours considérée comme indiquant la quantité d'humidité enlevée à la terre par l'atmosphère; mais cet instrument n'indique que l'évaporation qui a lieu dans un vase placé sur la surface de la terre, et par conséquent ne fournit aucune donnée directement utile aux progrès de l'agriculture, car les sols cultivés ne sont pas placés dans les mêmes conditions, et l'action des rayons solaires pour échauffer le sol n'est pas indiquée par les effets produits par la transformation de l'eau en vapeur. La différence entre la jauge de Dalton et celle de Howard est très remarquable; ainsi le professeur Daniel dit (*British almanac*) que la moyenne de la pluie pour Londres est de 0^m.5549, tandis que la moyenne d'évaporation est de 0^m.5995: c'est donc 0^m.446 d'eau évaporée de plus que celle fournie par la pluie. Les résultats obtenus en 1843 à l'institut philosophique de Birmingham sont: pluie, 0^m.6679; évaporation, 0^m.7994, ou 0^m.1315 en faveur de l'évaporation; mais, à l'aide de la jauge de Dalton, on a constaté dans le Hertfordshire 0^m.6653 de pluie et 0^m.3830 seulement rendu à l'atmosphère par l'évaporation; le reste a dû s'écouler à travers la terre pour se rendre dans les rivières, et ceci doit être le fait réel quand on compare la quantité d'eau fournie par la pluie avec celle enlevée par évaporation dans un sol de 0^m.90 de profondeur.

N'oublions donc jamais que des expériences quantitatives et multipliées forment seules la base de la science, et ces expériences pourront être variées à l'infini et utilement à l'aide des jauges à pluie et

de la jauge de Dalton, en ayant la précaution de placer cette dernière à des profondeurs variant de 0^m.30 à 1^m.20 au plus au dessous de la surface, et alternativement remplies avec des sols de nature différente, ce qui procurera à coup sûr des renseignements d'une grande importance pratique pour la science agricole.

e Fer Allemands a une voie



Appareil de commande des Signaux de Chemin de Fer. Locomotive et matériel

Fig. 1 —

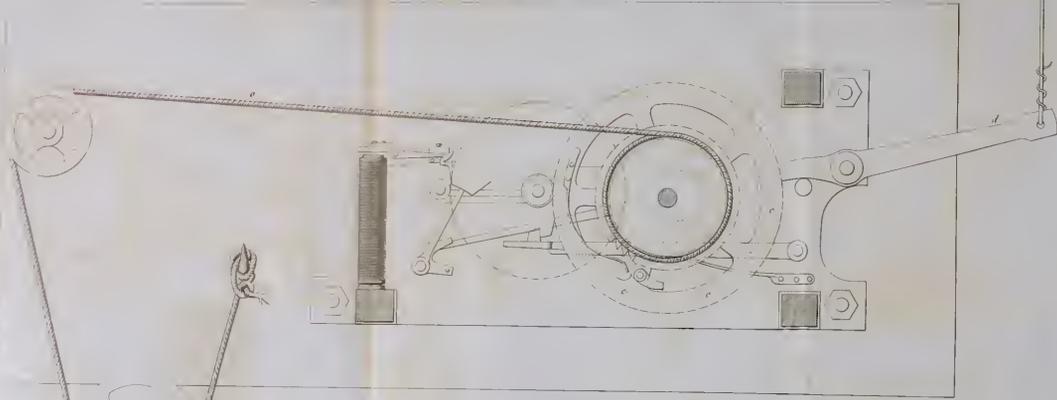


Fig. 5

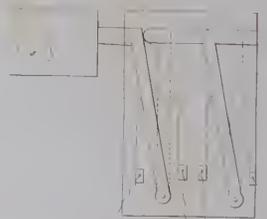


Fig. 2 — Plan

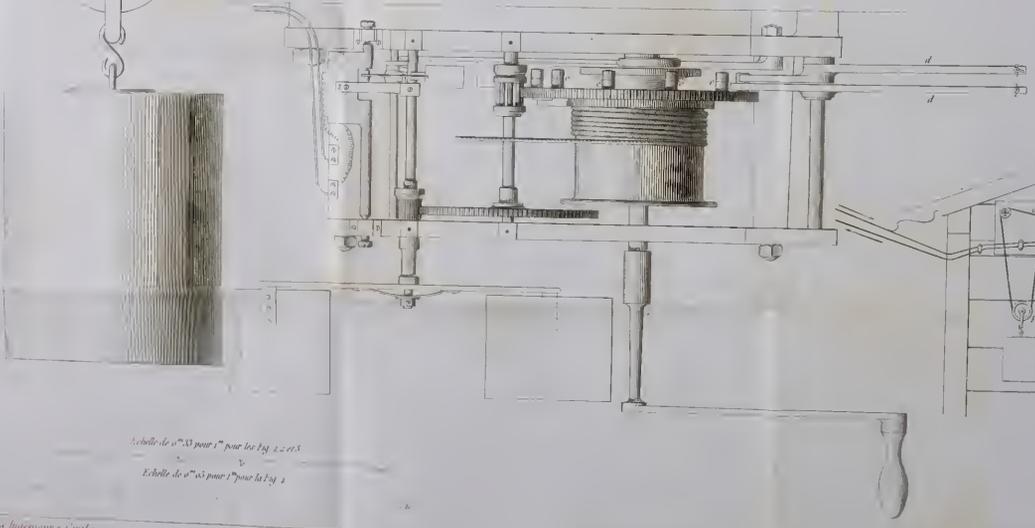
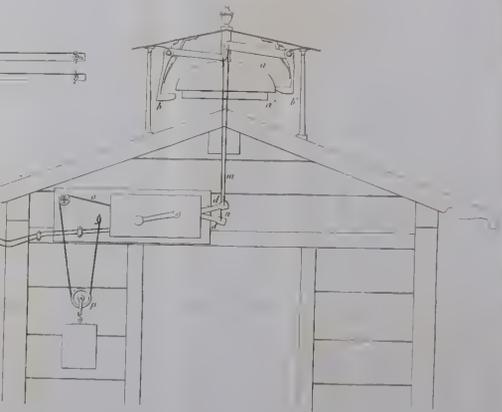


Fig. 4 —



Echelle de 0^m 25 pour les Fig. 2 et 4

Echelle de 0^m 25 pour la Fig. 5

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(Juillet, Août et Septembre 1854.)

N° 26

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° Drainage agricole (V. le résumé des séances, pages 93 à 120);

2° Observations sur le dernier tremblement de terre dans les Pyrénées (V. le résumé des séances, page 120);

3° Nouveau système de chaudière tubulaire (V. le résumé des séances, page 125);

4° Chute de la grue de Saint-Ouen (V. le résumé des séances, page 128);

5° Nouveau système de roues pleines en tôle pour wagons et machines locomotives (V. le résumé des séances, page 130);

6° Nouveau système de tuyaux en bois revêtus d'une couche de coltar (V. le résumé des séances, page 131).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Lefrançois, membre de la Société, une note sur le drainage;

2° De M. Guillaume, membre de la Société, une note relative aux

éclisses employées comme moyen de consolidation des joints en porte-à-faux ;

3° De M. Kréglinger, membre de la Société, une note sur des wagons plats et à charbon construits récemment en Belgique pour le chemin de fer de l'état ;

4° De M. Husquin de Rhéville, archiviste de la Société, un exemplaire du traité de comptabilité du matériel des chemins de fer, par Frédéric Hubert, chef garde-magasin du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux ;

5° De M. Emile With, des dessins de rails employés en Amérique et dans le royaume de Wurtemberg ;

6° De la Société industrielle de Mulhouse, un exemplaire de son bulletin ;

7° De M. Jouselin, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur la résistance des convois à l'action des moteurs ;

8° De M. Armengaud, membre de la Société, une note sur un nouveau système de tuyaux en bois et coltar combinés pour les conduites d'eaux, de gaz et autres ;

9° De M. Salvetat, membre de la Société, un exemplaire d'un rapport sur les arts céramiques ;

10° De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire sur l'établissement des arches de pont ;

11° De M. Jules Poirié, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire d'une notice sur le pont biais en fonte de Villeneuve-Saint-Georges ;

12° De M. Emile With, un exemplaire de son ouvrage sur les accidents des chemins de fer ;

13° De M. Ebray, membre de la Société, une note sur l'étude géologique et zoologique de l'ammonite anceps ;

14° De M. Petiet, membre de la Société, une collection de rapports des assemblées générales de divers chemins de fer, et diverses autres brochures ;

15° De la Société de Mulhouse, un exemplaire de son bulletin ;

16° De la Société d'encouragement, un exemplaire de son bulletin;

17° De M. Castel, membre de la Société, une note sur un nouveau système de chaudière tubulaire inventé par M. Zambaux.

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de Septembre,

M. JEANNENEY, présenté par MM. Callon, J. Petiet et Faure.

M. MÉRAUX, présenté par MM. Vuigner, Perdonnet et Grenier.

MEMOIRE N° XXXI.

Sur le meilleur système à employer pour élever et distribuer par jour dans la ville de Lyon 20,000 mètres cubes d'eau filtrée du Rhône et pour assainir les divers quartiers de cette cité, telle qu'elle a été constituée par le décret du 24 mars 1852,

PAR MM. VUIGNER ET EDWARDS.

EXPOSÉ.

L'administration municipale de la ville avait fait étudier, vers la fin de 1846, un avant-projet relatif à l'élévation et à la distribution d'un certain volume des eaux du Rhône, pour les besoins publics et particuliers des habitants de cette cité; et les travaux compris dans cet avant-projet, qui avait été approuvé dès les premiers mois de 1847, devaient être exécutés par elle.

Dans le système admis alors, il devait être pris dans le Rhône, au Petit-Brotteau (île Lambert), 15,000 mètres cubes d'eau par jour, et ce volume d'eau devait être élevé et distribué comme suit :

1° A 90 ^m . de hauteur, pour le haut service.	1000 ^{m^c}
2° A 30 ^m . pour le service moyen.	2000
3° Pour les parties basses de la ville.	12000
Total égal.	<u>15000^{m^c}</u>

Un champ plus vaste fut ouvert en 1852.

Le volume d'eau à élever et à distribuer fut porté à 20,000 mètres cubes par jour, qui devaient être répartis dans toute l'agglomération lyonnaise, déterminée par le décret du 24 mars 1852.

20,000 mètres courants de galeries d'égouts devaient aussi être établis pour l'assainissement de la cité.

La ville appella enfin la spéculation à exécuter cette œuvre d'uti-

lité publique, en garantissant un minimum d'intérêt sur un capital déterminé, et, pour qu'elle en conservât la responsabilité tout entière, aucun projet ne lui fut imposé.

Le mémoire à joindre à la soumission devait indiquer :

1° Le mode adopté pour la prise d'eau, leur élévation et leur distribution ;

2° Le montant du capital à dépenser et le système financier.

La soumission devait porter :

1° Sur le chiffre de l'intérêt garanti par la ville ;

2° Sur la participation de la ville aux bénéfices nets de l'entreprise ;

3° Enfin sur la durée de la concession.

Cette soumission devait être adressée au préfet avant le 31 janvier 1853.

Résumé du programme des charges imposées par la Ville.

Un programme indiquait les conditions particulières à remplir et déterminait les charges et les avantages de l'entreprise ; on peut le résumer comme suit :

Limites de distribution — Provenance des eaux. — Conditions de pureté, etc.

L'eau devait être distribuée dans toute l'agglomération lyonnaise déterminée par le décret du 24 mars 1852, et provenir du Rhône ; elle devait être filtrée naturellement dans des galeries voûtées ou puisards construits en maçonnerie imperméable, jusqu'à 3^m. au moins en contre-bas de l'étiage, recouverts d'une couche de terre de 1^m.00 au moins d'épaisseur, et défendus contre l'invasion des eaux du fleuve.

Ces puisards devaient être établis au Petit-Brotteau, ou sur tout autre point de la même rive, dans les mêmes conditions pour la qua-

lité de l'eau , et il y avait particulièrement lieu, à cet égard, d'éviter le voisinage d'établissements insalubres.

Pour le service du 3^e arrondissement (Guillotière), les puisards pouvaient être établis sur cette rive du Rhône, pourvu que les conditions de pureté d'eau fussent convenablement remplies.

Dans toute circonstance, l'eau devait arriver aux bornes-fontaines à la température de 10° à 15° au maximum.

Volume d'eau et moteurs.

Les moteurs, réservoirs, conduites principales et de répartition, devaient être calculés pour un volume de 20,000 mètres cubes.

Le volume à fournir pour le service public devait être au moins de 6,000 mètres cubes par jour, et il aurait pu être porté à 9,000 au bout de six ans.

Les moteurs étaient au choix de la Compagnie; ils devaient être tels qu'il n'y eût jamais de chômage.

Dans le délai de deux ans, à partir de l'homologation de l'adjudication, la compagnie devait avoir exécuté les travaux suivants, savoir :

1° Dans la partie de la ville, entre les deux rivières, bornée au nord par le mur d'enceinte de la Croix-Rousse, et au sud par le cours Napoléon ;

2° Dans la partie du 5^e arrondissement limitée par un plan passant à 30^m. 00 au dessus de l'étiage du pont de Tilsitt ;

3° La partie bâtie et habitée de la Guillotière, limitée à l'ouest par les quais, au nord par la ligne de fortifications entre le quai d'Albret et le fort de la Tête-d'Or ; à l'est, par la rue Sainte-Elisabeth, le chemin des Charpennes et l'avenue de Vendôme ; en retour, par la rue de la Croix-de-Tourville, des Béguines, des Trois-Pierres et du Midi.

Les travaux devaient être exécutés ensuite de manière qu'au bout de six ans on pût alimenter l'enceinte de Lyon, à l'exception de la partie du quartier de l'ouest située au dessus d'un plan passant à

90^m en contre-haut de l'étiage du pont de Tilsitt et de tout le 4^e arrondissement (la Croix-Rousse).

Bornes-fontaines, bornes d'arrosage et bouches d'incendie, fontaines monumentales, etc.

Il devait être établi pour les services publics, les besoins d'arrosage et d'incendie, savoir :

1^o 120 grandes bornes-fontaines conformes à celles existantes, et non compris les 37 alimentées à cette époque par l'entreprise Gardon ;

2^o 200 bornes d'arrosage et bouches d'incendie et bordures de trottoirs en fonte ou en pierre.

La Compagnie devait fournir un volume de 3,576 mètres cubes par jour aux fontaines monumentales ci-après, savoir :

1 ^o Place des Terreaux.	432 ^m par jour
2 ^o Place Bellecour.	1444
3 ^o Place Saint-Jean.	100
4 ^o Place Napoléon.	400
5 ^o Port Saint-Clair.	200
6 ^o Sept fontaines moindres dans les 3 ^e et 5 ^e arrondissements.	1000
Total égal.	<u>3576^m</u>

Dans le cas de non-établissement de ces fontaines, ce volume d'eau serait resté à la disposition de la ville pour le service public et l'arrosage.

Les bornes-fontaines pouvaient être ouvertes de huit heures du matin à huit heures du soir, en janvier, février, novembre et décembre ;

De sept heures du matin à huit heures et demie du soir, en mars, avril, septembre et octobre ;

De six heures du matin à neuf heures et demie du soir, en mai, juin, juillet et août.

Pour pouvoir subvenir aux besoins d'incendie, il devait rester, la nuit, dans les réservoirs, un tiers au moins du volume demandé, et la colonne devait être en charge pour qu'on pût, au besoin, se servir des bouches d'arrosage, dont les clefs seraient restées, à cet effet, déposées chez les commissaires de police.

Distribution du service. — Etablissement de conduites, etc.

La distribution des eaux pouvait avoir lieu en plusieurs services, ainsi qu'on l'a indiqué déjà, et les conduites principales de répartition et secondaires pouvaient être disposées dans cette hypothèse.

Il devait y avoir, dans toute circonstance, deux conduites, depuis les puisards jusqu'aux réservoirs, et les réservoirs devaient être réunis entre eux.

Les tuyaux devaient être en fonte; posés en dehors des aqueducs ou en dedans, mais de manière à ne pas entraver leur nettoyage; la pression d'épreuve triple de la pression normale, ils devaient être, avant la pose, immergés dans un bain d'huile bouillante à 200°.

La Compagnie devait satisfaire à toute demande particulière de concession d'au moins 100 litres par jour et par an.

Les eaux devaient être mesurées conformément aux indications données par l'administration; les livres et listes d'abonnements lui devaient être communiqués.

La Ville devait maintenir en activité les pompes et fontaines actuelles, et mettre à la disposition de la Compagnie le matériel de l'entreprise Gardon. Le bassin du Jardin-des-Plantes lui aurait été remis également à charge d'entretien.

Etablissements d'égouts.

La compagnie devait se mettre en mesure de construire 20,000 mètres courants d'aqueducs de trois classes, savoir :

1 ^{re} classe : Largeur, 1 ^m . Hauteur, 2 ^m à 1 ^m .60. Longueur.	12,000 ^m .
2 ^e classe : Largeur, 0 ^m .90. Hauteur, 2 ^m à 1 ^m .60.	3,000
3 ^e classe : Largeur, 0 ^m .80. Hauteur, 2 ^m à 1 ^m .50.	5,000
Total égal.	<hr/> 20,000 ^m .

Les radiers devaient être en pierre de choix avec flèches de 0^m.12, 0^m.10, 0^m.08, pour les classes respectives.

Ces pierres de 0^m.20 d'épaisseur au minimum, devaient être engagées de 0^m.15 sous les piédroits.

Les aqueducs les plus bas de chaque classe pouvaient être recouverts en dalles de choix de 0^m.25 à 0^m.30 d'épaisseur et 1^m.30 de longueur au moins.

Les autres aqueducs auraient été fermés par des voûtes en plein-cintre de 0^m.40 d'épaisseur à la clef, avec chape en mortier de 0^m.06.

Les regards devaient être munis de plaques en fonte de 270^k.

Les radiers auraient eu une pente uniforme, et ils devaient déboucher à 0^m.30 au moins en contre-haut de l'étiage.

Des ouvertures auraient été réservées dans les aqueducs pour les gueulards des petites conduites de décharge.

L'entretien de ces divers travaux, pendant la durée de la concession, devait former une des charges de la compagnie.

Les tranchées auraient été soumises aux règles ordinaires de voirie.

Les réparations des dégradations aux voies publiques déterminées par l'exécution des travaux devaient être supportées par la compagnie; elle aurait eu du reste toute la responsabilité des travaux et des dégâts aux conduites de gaz, fils télégraphiques, etc.

La compagnie aurait été substituée à la ville pour son droit d'expropriation.

Conditions particulières de la soumission.

La compagnie devait indiquer dans sa soumission la durée de la

concession qu'elle demanderait ; elle y devait proposer une réduction et sur le chiffre du capital, dont le maximum était fixé à dix millions, et même sur le taux de l'intérêt à garantir par la ville sur ce capital ; elle y devait déterminer enfin après quel taux d'intérêt la ville aurait été appelée à participer aux bénéfices de l'entreprise.

Les annuités pour l'amortissement devaient être naturellement basées sur le nombre d'années de concession et sur le capital, mais en ayant égard au temps qui se serait écoulé pour l'exécution des travaux.

Le montant des travaux aurait été arrêté contradictoirement par la compagnie et l'architecte de la ville, et homologué par le conseil de préfecture, qui devait être compétent pour juger toutes les difficultés entre la ville et la compagnie, et notamment dans le cas de mauvaise exécution des travaux de premier établissement et d'entretien.

Prix de l'eau pour les services publics et les concessions particulières.

Le mètre cube d'eau du service public devait être payé à raison de 13 fr. 40 c. par an. Ce chiffre aurait été invariable, et cette annuité entraînait en déduction de la garantie de la ville.

Ce prix aurait été applicable aux établissements communaux et charitables de l'agglomération lyonnaise.

L'eau aurait été vendue aux prix suivants par jour, savoir :

Aux particuliers, à raison de 6 c. l'hectolitre.

A l'industrie, à raison de 3 c. l'hectolitre.

On entendait par industrie une consommation de cinq mètres cubes par jour.

Les eaux de condensation des usines devaient appartenir à la ville, qui pouvait les régler.

Le matériel aurait été sous la surveillance de l'administration.

Pendant cinq années avant l'expiration de la concession, les travaux qui seraient ordonnés auraient été garantis par les revenus.

Après trente ans, l'administration pouvait racheter la concession en se basant sur les produits, déduction faite des intérêts servis par la ville pendant les cinq plus fortes années parmi les sept dernières.

Conditions générales.

Les contraventions auraient été constatées par les architectes de la ville, le commissaire spécial de police municipale, ou les commissaires d'arrondissement.

Le conseil de préfecture devait statuer sur toutes les contraventions.

En cas de différence en moins sur le volume d'eau à fournir, le conseil de préfecture devait opérer une déduction en appliquant au volume manquant le triple du tarif.

S'il y avait récidive, la déduction aurait été double, triple, quadruple, etc.

Le conseil pouvait prononcer les résiliations des marchés avec les particuliers.

Les cas de force majeure auraient été constatés dans le plus bref délai possible par l'architecte de la ville, sur la réquisition de la compagnie.

Il pouvait être fait retenue de 100,000 fr. sur le cautionnement au profit de la ville, dans le cas de l'inexécution des prescriptions de l'art. 8, relatives aux délais d'exécution.

Six mois après, il pouvait être fait une nouvelle retenue de 100,000 fr.

Au bout d'un an, la moitié du cautionnement aurait appartenu à la ville; le conseil de préfecture pouvait annuler le traité, et les travaux reconnus bons auraient été achetés par la ville et évalués contradictoirement.

Pour être admis à soumissionner, il fallait déposer préalablement un cautionnement de 500,000 fr. en numéraire ou en titres de rentes.

Le soumissionnaire devait faire élection de domicile à Lyon, où se seraient jugées toutes les contestations.

Les frais divers d'adjudication devaient être à la charge de l'adjudicataire.

Division des questions à traiter.

D'après les indications du programme analysé ci-dessus, les questions à traiter étaient bien déterminées, mais il fallait y ajouter toutefois quelques renseignements sur le volume d'eau à distribuer et quelques explications de principe relativement aux distributions publiques et aux concessions particulières.

Donner ces renseignements et explications ;

Indiquer les divers systèmes de prise d'eau et de division du service pour la distribution ;

Discuter leurs avantages et leurs inconvénients ;

Résumer les motifs de la préférence accordée au système définitivement proposé ;

Tracer largement la direction des conduites principales et de répartition, l'emplacement des réservoirs, en indiquant leur importance respective ;

Déterminer les bases principales de l'établissement des égouts ;

Evaluer sommairement les dépenses de premier établissement dans les diverses hypothèses posées par le programme.

Répondre enfin aux questions du programme relativement au système financier, à la durée de la concession, au minimum d'intérêts garanti par la ville, etc.

Tel est l'ordre que l'on suivra dans le présent mémoire.

Volume des eaux nécessaires aux besoins publics et particuliers.

Les ingénieurs qui se sont occupés des distributions d'eau dans les villes n'ont pas été d'accord jusqu'ici sur le volume nécessaire pour les besoins publics et particuliers des habitants. En Angleterre, les quantités d'eau distribuées dans les villes les plus importantes diffèrent essentiellement.

M. Parcieu a fixé, il y a long-temps déjà, à 20 litres par in-

dividu et par jour le volume d'eau nécessaire pour les besoins publics et particuliers.

En 1778, MM. Perrier ont évalué ce volume à 37 litres.

M. le professeur Leslie a indiqué dans ses ouvrages que ce volume d'eau pouvait ne pas dépasser 36 litres.

M. l'ingénieur Mallet, après de longues études sur les lieux mêmes en Angleterre, a porté ce volume à 80 litres par individu.

Plus tard, le même ingénieur a indiqué qu'il faudrait le porter à 57 litres pour Paris.

M. Geniès, auteur de plusieurs ouvrages sur les distributions d'eau, a admis que 36 litres suffiraient pour cette capitale; il s'est rapproché ainsi de l'opinion de MM. Perrier et du professeur Leslie.

Il a établi que ce volume d'eau peut être réparti comme suit :

Besoins particuliers, par individu.	5 ^{lit.}
Besoins publics.	31
	<hr/>
Total égal.	36 ^{lit.}

M. Bruyère a porté à 7 litres $1/2$ au lieu de 5 les besoins du ménage.

M. Girard a indiqué enfin que, jusqu'à présent, on n'a évalué l'eau nécessaire aux habitants d'une ville qu'à raison de un pouce de fontaine (19^m, 19^s) par jour par 1,000 individus, en y comprenant les besoins généraux, tels que nettoyage de rues, bains, abreuvoirs, lavoirs, etc.; mais, lors de la concession du canal de l'Ourcq, il a fait réserver 4,000 pouces d'eau pour les besoins publics et particuliers de la ville de Paris, ce qui revient à 80 litres par individu, en portant la population fixe et flottante de cette capitale à un million d'habitants, et ces 4,000 pouces devaient servir, moitié pour châteaux d'eau, fontaines monumentales et distributions gratuites, et moitié pour les besoins des maisons particulières.

C'est d'après les mêmes données qu'on a basé le système de distribution de divers autres villes de France.

En Angleterre, le volume d'eau distribué par individu et par

jour, peut être évalué à 61 litres 1/2 en moyenne, comme suit, savoir :

A Londres.	80 ^{lit.}
A Manchester.	44
A Liverpool.	27 1/2
A Glasgow.	100
A Grenewich	56 1/2
A Edimbourg	61
Moyenne.	61 ^{lit.} 1/2

En fixant à 20,000 mètres cubes par jour (1000 pouces de fontaine environ) le volume d'eau à distribuer dans l'agglomération lyonnaise, les besoins publics et particuliers auraient été convenablement assurés, puisque ce volume d'eau peut être considéré comme correspondant à 80 litres par individu et par jour.

L'agglomération lyonnaise, telle qu'elle est déterminée par le décret du 24 mars 1852, comporte, en effet, une population d'environ 250,000 individus, ainsi qu'il suit :

Population de Lyon en 1852.	156,169 h.
— de La Guillotière	37,365
— de la Croix-Rousse.	27,972
— de Vaise.	8,802
— de Saint-Yrénée	6,921
Population flottante, environ	22,771
Total égal.	250,000 h.

Cette population est le quart de celle de Paris, et c'est aussi le quart du volume réservé pour les besoins publics et particuliers de cette capitale que la ville de Lyon aurait eu.

Il faut observer enfin qu'il n'est pas tenu compte des produits de l'entreprise Gardon et du volume d'eau à distribuer dans la Croix-Rousse par l'entreprise particulière qui est autorisée à éle-

ver des eaux pour les besoins publics dans cette partie de l'agglomération lyonnaise.

Au moyen de ces dispositions, nous le pensons, les besoins du présent et de l'avenir auraient été convenablement assurés.

Principe à admettre relativement aux distributions publiques et particulières.

Il était indiqué dans le programme que les distributions des eaux aux bornes-fontaines devaient avoir lieu :

De 8 heures du matin à 8 heures du soir en janvier, février, novembre et décembre;

De 7 heures du matin à 8 heures 1/2 du soir en mars, avril, septembre et octobre;

De six heures du matin à 9 heures 1/2 du soir en mai, juin, juillet et août.

Aux termes d'autres dispositions du même programme, le volume à fournir pour le service public devait être au moins de 6000^m par jour, et il devait être porté au bout de six ans à 9,000^m, ci 9,000^m

Les fontaines monumentales devaient consommer . . . 3,576

Il restait donc 5,424^m

à répartir entre les bornes-fontaines, les bouches d'arrosage et d'incendie.

Il devait être établi enfin cent vingt grandes bornes fontaines et deux cents bouches d'arrosage ou bondes d'incendie.

Pour établir de la concordance entre ces diverses prescriptions, il aurait fallu évidemment admettre en principe que les bornes-fontaines et les bouches d'arrosage ne dépenseraient pas en moyenne plus d'un pouce de fontaine ou 20 mètres cubes d'eau par jour, car, en admettant ce débit, il en résulterait une consommation de 9,976 mètres cubes d'eau par jour, savoir :

1° Pour les 120 bornes-fontaines.	2,000 ^{m c}
2° Pour les 200 boudes d'arrosage	4,000
3° Pour les fontaines monumentales, comme dessus	3,576
	<hr/>
Total égal.	9,976 ^{m c}

ou, en nombre rond, 1,000^{m c}

Quantité excédant de 1,000^{m c} alors le maximum fixé par le programme.

Des dispositions auraient donc dû être prises pour régler dans les limites ainsi fixées les dépenses des bornes-fontaines et des bouches d'arrosage.

Il y a lieu de faire observer à cet égard qu'il a d'abord été établi à Paris des bouches d'arrosage sous trottoirs, mais qu'elles ont été supprimées depuis et remplacées par des bornes-fontaines, et qu'en conséquence, il est probable qu'on apporterait la même modification aux conditions du programme.

Il était indiqué d'un autre côté que la compagnie devait satisfaire à toutes les demandes particulières de concessions d'au moins 100 litres par jour et par an.

Il ne pouvait en être ainsi évidemment que dans les rues où l'administration aurait admis l'établissement de conduites de répartition, ou répartiteurs. Nous ferons observer, du reste, à cet égard, qu'il aurait été autant dans l'intérêt de la municipalité, qui garantit un certain taux d'intérêt, que dans celui de la compagnie, de ne pas établir de répartition dont la dépense aurait été en pure perte, ou qui n'aurait pas été en rapport avec les produits qu'on pouvait en retirer.

Il aurait fallu aussi dire que tous les frais généralement quelconques auxquels donneraient lieu les travaux relatifs à l'établissement et à l'entretien des conduites particulières seraient à la charge des abonnés, qui seraient tenus de les faire exécuter à leurs risques et périls et de se conformer à cet égard à tous les règlements d'administration et de police, faits ou à faire, comme cela a lieu à Paris

et dans les autres villes de France où il y a des distributions d'eau.

On pouvait indiquer, pour éviter toute difficulté ultérieure, qu'en ce qui concerne les concessions particulières, on se conformerait aux conditions prescrites pour les abonnements des eaux de l'Ourcq à Paris, et consignées dans des arrêtés préfectoraux qui ont établi cette réglementation.

Quant aux prix de l'abonnement, fixé à six centimes par hectolitre et par jour pour les particuliers, et à trois centimes pour les industriels, ils ne pouvaient être considérés que comme des maximum que la compagnie ne pouvait pas dépasser, mais qu'elle aurait la facilité de réduire, s'il était utile qu'il en fût ainsi pour donner un grand développement aux abonnements particuliers.

Relativement au prix de 13 fr. 40 par an et par mètre cube d'eau par jour pour le service public, quelques observations auraient été à faire, attendu qu'il n'est pas en rapport avec les dépenses de premier établissement et celles du service journalier. Cette fixation devait être combinée, du reste, avec la garantie du taux de l'intérêt de la ville, et l'on aurait dû en faire l'objet d'une transaction ultérieure.

Aux termes des conditions du programme, les travaux devaient être réglés contradictoirement entre la compagnie et l'architecte et homologués par le conseil de préfecture. Il est inutile de faire observer que, dans le règlement de ces travaux, on devait tenir compte des dépenses d'administration générale, des frais généraux et de conduite, des pertes d'intérêts d'argent, et de tous les frais imprévus auxquels peuvent donner lieu des travaux de cette nature et de cette importance.

Peut-être aurait-il été préférable d'établir à l'avance, et contradictoirement au besoin, les dépenses totales de l'opération, et de faire alors un forfait, pour éviter ainsi ces règlements partiels.

La ville devait remettre le matériel Gardon à la disposition de la compagnie; cette dernière aurait dû avoir la faculté de supprimer cet établissement, si elle le jugeait convenable?

*Système d'élévation et de distribution d'eau. — Division
du service, etc.*

Dans un projet de distribution d'eau pour les besoins publics et particuliers d'une grande ville, la question la plus capitale, c'est évidemment celle relative au système à suivre pour amener les eaux à un niveau convenable à cet effet et pour la distribution du service.

D'après le programme, les eaux devaient être prises dans le Rhône, au Petit-Brotteau, ou sur tout autre point de la même rive du fleuve présentant les mêmes conditions sous le rapport de la qualité des eaux.

La compagnie aurait même eu la faculté de prendre les eaux sur l'autre rive pour le service de la Guillotière, mais en satisfaisant aux mêmes conditions de pureté du liquide.

On pouvait se borner à étudier le problème ainsi circonscrit ; mais la discussion de la question resterait incomplète si l'on ne discutait pas les divers autres systèmes qui pouvaient se présenter pour satisfaire aux conditions du programme.

Ainsi, bien que le programme soit bien explicite relativement au système, une compagnie avait songé à un autre système essentiellement différent.

Ce second système consistait dans l'exécution d'un canal de dérivation dont la prise d'eau, suivant l'article du 13 janvier courant du *Courrier de Lyon*, aurait eu lieu sur un point situé à 22 kilom. en amont de la Pape, au Pollet.

« Ce point, y disait-on, serait une zone dans laquelle l'eau n'arriverait qu'après avoir subi une clarification naturelle au travers
» des bancs de gravier qui existent déjà, que l'on élèverait et que
» l'on fortifierait au moyen de larges chaussées qui mettraient obstacle à l'invasion directe du fleuve.

» De là, le canal s'élèverait sur le versant du plateau de la Bresse,

» dont il suivrait toute les sinuosités, et arriverait vers la Pape à
» une hauteur de soixante à soixante-dix mètres au dessus de l'étiage
» du Rhône.

» Dans la pensée de l'ingénieur qui a conçu ce projet, enfin, le
» canal dont il s'agit, en amenant à Lyon les eaux nécessaires pour
» les besoins domestiques et industriels, ainsi que pour le lavage
» des rues et l'embellissement de la ville, ajouterait une force de
» 3,000 chevaux à la force motrice actuellement existante de l'in-
» dustrie lyonnaise, et créerait un système d'irrigation pour tout le
» pays qu'il traverserait, etc. »

Dans ces termes, le système ne supportait pas de discussion, car, en jetant les yeux sur la carte du dépôt de la guerre et en se rendant compte du régime des eaux du Rhône, on reconnaît qu'il eût été matériellement impossible d'obtenir les résultats indiqués. Quelques mots suffiront pour justifier l'exactitude de cette assertion.

L'étiage du Rhône, au pont de Tilsitt, est, par rapport au niveau de la mer, à la cote. 163^m »

Du pont de Tilsitt à la Pape, la pente est de 4^m.50, de sorte que la cote de l'étiage, sur ce dernier point, est de. 167 50

En amont de Lyon, la pente n'est pas de 1^m. par kilom., et, d'après la carte du dépôt de la guerre, c'est à peine si, de la Pape au Pollet, la pente est de 20^m. L'étiage sur ce point ne serait donc qu'à la cote 187 50

En admettant, pour le canal de dérivation, une déclivité de 1^m.10 par kilom., la cote de l'eau dans ce canal, à la Pape, ne serait que de 185^m.30, ci. 185 30

Il n'y aurait donc eu entre l'eau de ce canal et l'étiage du Rhône qu'une différence de niveau de 60 à 70^m.

Cette différence n'aurait été en réalité, à la Pape, que de 17 80

Et, par rapport au pont de Tilsitt, de 22 30

Dans cette situation, on le comprendra facilement, il n'y avait pas à songer à un canal de dérivation, qui ne pouvait remplir aucune des conditions du programme.

Mais l'auteur de l'article du *Courrier* s'est probablement mépris ; il a voulu dire évidemment que, dans la pensée de l'ingénieur qui a dressé le projet du canal de dérivation , on prendrait l'eau dans la rivière de l'Aulne, qui prend sa source au Pollet et qui se jette dans le Rhône à quelques kilomètres au delà.

En admettant l'eau de l'Aulne au Pollet à la cote 203, ci 203^m.

L'eau du Rhône étant, comme dessus, au pont de Tilsitt
à 163 »
Et à la Pape, à 167 50

Déduisant toujours 2^m.50 pour la déclivité du canal, l'eau n'y aurait été à la Pape qu'à 200 80

La différence de niveau entre les eaux du canal de dérivation et les eaux du Rhône, à l'étiage, n'aurait encore été, à la Pape, que de 33 30

Par rapport au pont de Tilsitt. 37 80

En tenant compte de la variation des eaux du Rhône et des pertes à faire dans les chutes partielles, on trouve qu'il ne serait resté en chute réellement disponible qu'environ. 30 00

Pour obtenir avec cette chute une force de 3,000 chevaux, pour l'industrie, il aurait fallu un volume d'eau par seconde de. 7 50

Et, en conséquence, en admettant dans le canal une vitesse moyenne de 0^m50, une section de 15 »

Cette section aurait dû être encore augmentée si, pour remplir les conditions du programme, il avait fallu, tout en conservant la force motrice industrielle ci-dessus indiquée, employer une partie du volume des eaux de dérivation pour élever à une hauteur convenable pour leur distribution le volume d'eau demandé des eaux du Rhône, et surtout disposer d'un certain volume d'eau pour les irrigations dans le parcours du canal.

Mais admettons encore qu'on se fût borné à un canal de dérivation pouvant débiter 7^m.50 par seconde et ayant ainsi une section d'eau de 15 mètres.

C'est le double environ de la section du canal de l'Oureq, qui amène

de l'eau à La Villette pour les distributions dans Paris et l'alimentation des canaux de Saint-Denis et de Saint-Martin.

Eh bien ! qu'on se figure un canal de dérivation de 15^m. de section, partant de la rive droite de la rivière de l'Aulne, près le Pollet, se développant dans la plaine pour venir passer, à la hauteur de la cote 203, derrière Dagnieux, Montluel et Laboine, au milieu de Beynoit, de Saint-Martin et de Miribel, et à mi-coteau le long de la route de Genève entre Miribel et la Pape, en coupant tous les caps avancés et traversant toutes les anfractuosités qui abondent dans cette direction, on jugera facilement que c'eût été une œuvre gigantesque, une de ces opérations anormales qu'on ne peut attaquer sans s'exposer à des dépenses dépassant toutes les prévisions, comme cela est arrivé toujours dans des circonstances semblables.

Un canal de dérivation peut être une excellente solution du problème pour amener une grande quantité d'eau à la proximité d'une grande ville, à une hauteur convenable pour la distribuer pour les besoins publics et particuliers de ses habitants ; mais, dans l'espèce, cette solution n'était pas rationnelle.

On admettrait une dépense de premier établissement de 10 à 12 millions, et l'on serait entraîné fatalement à une dépense double ou triple, parcequ'on ne voudrait pas abandonner une opération dans laquelle on aurait engagé une somme aussi considérable.

C'est ainsi qu'à Marseille, pour le canal de dérivation de la Durance, on est arrivé à une dépense de 30 millions ; que le canal de "Ourcq a coûté le double des prévisions premières ; que les dépenses sur le canal de la Marne au Rhin dépasseront de quarante à cinquante millions les premières estimations, etc.

A ces chances de dépenses énormes il faut ajouter les inconvénients qui peuvent résulter, après l'achèvement du travail, des ruptures de digues, des pertes d'eau par infiltrations, de l'obstruction du lit par les herbes pendant les chaleurs, de la diminution du volume d'eau pendant l'étiage, et de l'encombrement des glaces pendant l'hiver.

Il faut enfin considérer qu'en cas de guerre, le canal pouvait être coupé, et que toute l'agglomération Lyonnaise aurait été privée d'eau pendant un temps plus ou moins long.

Les difficultés n'auraient pas été moindres si l'on avait voulu réduire la section du canal de dérivation à celle du canal de l'Ourcq, ce qui aurait réduit, dans ce cas, à 1,500 chevaux au maximum, la force motrice disponible.

Mais il ne faut pas s'exagérer les avantages qu'on aurait pu retirer de forces motrices ainsi disponibles à la porte de Lyon.

Le canal de l'Ourcq amène aussi aux portes de Paris un volume d'eau dont une partie est réservée pour créer de semblables forces sur les chutes des écluses du canal Saint-Denis; ces forces ne sont louées qu'à raison de 200 fr. par cheval, et elles ne sont pas toutes utilisées aujourd'hui, bien que le canal Saint-Denis soit en activité depuis plus de vingt ans.

Les industriels préfèrent les machines à vapeur, parcequ'ils sont plus libres de leur emplacement pour leurs établissements; qu'ils ont une force motrice non variable, et qu'ils n'ont pas l'inconvénient du chômage.

Ces considérations devaient suffire pour prouver que le système de canal de dérivation devait être abandonné par les capitalistes sérieux, qui ne peuvent s'engager que dans une affaire certaine, pour les dépenses comme pour les résultats, et qu'en conséquence il fallait s'en tenir au programme quant au système principal de prise d'eau dans le Rhône à la proximité de Lyon.

Dans ce système, la première pensée qui doit se présenter à l'esprit, c'était évidemment de prendre les eaux dans des puisards au Petit-Brotteau (Ile Lambert), de l'élever en totalité à 100 mètres de hauteur, en ayant un seul réservoir, près le fort Montessuy, et de faire de là la distribution dans toute l'agglomération Lyonnaise. C'était là une opération grandiose, qui convenait peut-être à une ville comme celle de Lyon; mais, dans une opération qu'on livre à la spéculation et dans laquelle se trouve aussi engagée la garantie de la municipalité, il faut tenir compte des dépenses de premier établissement.

Il aurait fallu une force de plus de 300 chevaux pendant 24 heures pour élever à cent mètres de hauteur au dessus de l'étiage du pont de Tilsitt , près le fort de Montessuy, vingt mille mètres cubes d'eau par jour, et , si l'on voulait avoir ce volume d'eau en douze heures, il aurait fallu rationnellement une force double, en conséquence une force de six cents chevaux.

L'emploi de trois machines à vapeur de la force de trois cents chevaux chacune aurait donc été nécessaire dans l'hypothèse admise, pour qu'il n'y ait pas à craindre de chômage dans aucune circonstance, et ces machines auraient dû être dans le système Cornwailles à simple effet.

En admettant une consommation de 2 kilogrammes par cheval et par heure, une machine à vapeur de trois cents chevaux pendant 24 heures, ou deux machines à vapeur de 300 chevaux pendant 12 heures, consommeraient par jour 14,400 kilog. de charbons, soit en argent, à raison de 20 fr. la tonne (transport et déchet compris. 300 fr.

Ajoutant, pour mécaniciens, chauffeurs et réparations. 100

La dépense totale par jour se serait élevée à . 400

Et par an à 146,000

Sans tenir compte des frais généraux ni de l'intérêt du capital de premier établissement.

Cette dépense considérable se serait encore augmentée de l'intérêt de l'argent à dépenser en plus pour l'augmentation du diamètre des conduites, qui aurait été déterminé par la nécessité de monter la totalité du volume des eaux près le fort Montessuy et de le distribuer de là dans tous les quartiers de la ville.

Une partie de cette dépense , aussi bien pour premier établissement que pour exploitation annuelle , aurait été en pure perte , puisque les distributions à faire dans le haut service s'élèvent à peine au tiers de celles à faire dans le bas service.

Il fallait donc rechercher un système plus économique sous le rapport de premier établissement et d'entretien, tout en réservant les besoins d'avenir et en remplissant les conditions du programme quant à la pureté de l'eau.

La nécessité de donner de l'eau du Rhône filtrée naturellement ne permettait guère de s'établir sur un autre point que l'île Lambert, au Petit-Brotteau, puisque c'est le point de cette rive le plus rapproché de la ville de Lyon, où l'on trouve un atterrissement de gros gravier remplissant les conditions voulues pour un filtrage naturel, et qu'il n'y a, pour ainsi dire, aucun établissement insalubre en amont.

D'un autre côté, il fallait former dans cette localité un établissement unique pouvant subvenir à tous les services, parce que la division des établissements, surtout avec des machines à vapeur, augmente, en pure perte, et les frais généraux de personnel et les frais journaliers d'entretien et de combustible.

Admettons maintenant qu'en formant ainsi un seul établissement au Petit-Brotteau, le volume de 20,000 mètres cubes par jour demandé fût divisé en trois parties, savoir :

8,000^{mc}. à élever à 100 mètres pour le haut service;

6,000 à élever à 40^m. pour le service intermédiaire et pour le bas service;

6,000 à élever à 25^m pour le bas service, et spécialement pour le service de la Guillotière.

On aurait satisfait à ces conditions, savoir :

1° Par un travail de 24 heures avec trois machines :

L'une de 124 chevaux pour le haut service,

L'une de 37 chevaux pour le service intermédiaire,

Et la troisième de 24 chevaux pour le bas service;

2° Et en nombre rond, pour un travail de douze heures avec trois machines :

L'une de	250 chevaux	250 ch.
----------	-----------------------	---------

A reporter 250

		Report	250
La seconde de	75	id.	75
Et la troisième de	50	id.	50
			<hr/>
Ce qui faisait en tout une force de.			375 ^{ch.}

Mais, pour réserver mieux encore les besoins d'avenir, il était convenable de disposer l'établissement pour l'élévation et la distribution de 24,000 mètres cubes d'eau par jour qui auraient été répartis alors par tiers, savoir :

8,000 mètres cubes à élever à 100 mètres pour le haut service ;
 8,000 mètres cubes à élever à 40^m pour le service intermédiaire
 et une partie du bas service ,

Et 8,000 mètres cubes à élever à 25^m pour la Guillotière .

On satisferrait à ces conditions nouvelles , savoir :

1° Dans le cas d'un travail de 24 heures avec trois machines à vapeur :

L'une de	124 chevaux ,
L'autre de	48 id. ,
Et la troisième de	30 id. ,

2° Et, dans l'hypothèse d'un travail de douze heures, comme dessus, avec trois machines :

L'une de	250 chevaux ,
Une autre de	100 id. ,
Et la troisième de	60 id. ;
	<hr/>
Ensemble	410 chevaux.

Trois machines à vapeur de 125 chevaux chacune , marchant pendant douze heures , et une quatrième pour remplacer l'une des trois premières en réparation, suffisaient donc pour satisfaire à la condition de l'élévation et de la distribution de 20,000 mètres cubes d'eau dans l'hypothèse des répartitions indiquées ci-dessus.

On satisferrait à la condition de l'élévation et de la distribution dans la même hypothèse de 24,000 mètres cubes d'eau avec trois

machines de 137 chevaux, marchant pendant 12 heures, et une quatrième machine de rechange de même force.

Mais on pouvait arriver à réduire à trois machines de 150 chevaux la force nécessaire pour satisfaire à la même condition de nécessité, d'élévation et de distribution de 24,000^m. cubes d'eau par jour, dans l'hypothèse d'un travail pendant 15 heures pour deux de ces machines dans certaines circonstances.

On pouvait, en effet, établir à l'aval de l'ancien lit du Rhône, à l'extrémité du quai d'Albret, près la redoute du Haut-Rhône, un moteur hydraulique (soit une turbine du système Girard, soit une roue à aubes du système Mary) avec lequel on aurait fait éventuellement le service du troisième arrondissement (la Guillotière).

Un moteur d'une force réelle de 45 chevaux, représentant trente chevaux de force utile, suffisait pour obtenir ce résultat, et l'établissement d'un tel moteur aurait été très facile sur le point ci-dessus déterminé, ou même à l'extrémité amont de l'ancien lit du Rhône, si l'on avait préféré établir sur ce point un barrage devant déterminer la chute dont on aurait à disposer; et sur l'un ou l'autre point on aurait aussi eu la possibilité de former des puisards d'eau filtrée dans les atterrissements de gravier qui se trouvent sur cette partie du fleuve.

En temps ordinaire, ce moteur hydraulique servirait donc pour l'alimentation du troisième arrondissement, et les machines à vapeur du Petit-Brotteau n'auraient qu'à subvenir à l'alimentation du haut service et du service intermédiaire.

Deux des trois machines à vapeur de 150 chevaux, travaillant pendant 14 heures, auraient satisfait à cette condition, et il suffisait de les faire travailler 2 heures 1/2 de plus pour qu'elles alimentassent le troisième arrondissement dans le cas de dérangement ou de réparation au moteur hydraulique.

Ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, trois machines à vapeur de 150 chevaux établies au Petit-Brotteau suffisaient donc pour subvenir à l'élévation et à la répartition des eaux dans les hypothèses admises ci-dessus; et, si l'on observe que tous nos calculs étaient basés

sur l'élévation et la distribution de 24,000 mètres cubes d'eau par jour, on reconnaîtra facilement que l'établissement de ces trois machines à vapeur satisfesait à toutes les conditions du problème.

C'est une force moitié moindre que celle à laquelle nous étions arrivés, en admettant l'élévation de tout le volume d'eau (20,000 mètres cubes seulement) à la hauteur totale, et en conséquence une réduction de dépense de moitié pour premier établissement, pour combustible, etc.

Il y a mieux encore : des machines du système Cornwall de 150 chevaux sont des machines courantes pour l'établissement, dont le mouvement et le rendement ne donnent lieu à aucune espèce d'incertitude, comme on peut s'en rendre compte par les détails d'un article inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* (année 1852, 3^e livraison).

Système définitivement admis et proposé.

Toutes ces études et ces considérations développées ci-dessus nous avaient déterminé à admettre et à proposer définitivement le système ci-dessous comme solution des divers problèmes proposés par le programme.

Les Petits-Brotteaux, et même au besoin, pour réserver l'avenir, toutes les propriétés de l'île Lambert, auraient été achetées pour l'établissement général de prise d'eau.

On aurait monté sur ce point trois machines à vapeur de la force de 150 chevaux chacune ; ces machines auraient été à simple effet dans le système Cornwall.

On aurait établi à leur proximité, et parallèlement au Rhône, une galerie voûtée, en communication avec des puisards en maçonnerie imperméable, jusqu'à 3 mètres au moins en contre-bas de l'étiage du Rhône sur ce point, défendus contre l'invasion des eaux de ce fleuve et recouverts d'une couche de terre végétale de 1 ou 2 mètres d'épaisseur.

Les machines à vapeur auraient été disposées pour prendre l'eau

dans ces puisards, et pour les élever dans trois réservoirs construits en maçonnerie et couverts, pouvant contenir chacun de 3 à 4,000 mètres cubes d'eau.

Ces réservoirs auraient été situés, savoir :

L'un à 100 mètres au dessus de l'étiage du Rhône, au Petit-Brotteau, à l'intersection du chemin de la Croix-Rousse à Rillieux et du chemin du faubourg de Bresse à Caluire, près le fort de Montessuy ;

Un second à 40 mètres de hauteur près du point de ce dernier chemin qui se trouverait dans cette condition de hauteur près de l'angle du chemin de Boutary ,

Et le troisième à 25 mètres de hauteur à La Guillotière , entre le fort de La Motte et la route de Chambéry.

On aurait établi en outre, sur la rive gauche du Rhône, soit à l'amont, soit à l'aval de l'ancien lit de ce fleuve, et, dans ce dernier cas, vers l'extrémité du quai d'Albret, un moteur hydraulique d'une force utile de 30 à 40 chevaux , qui aurait servi dans les temps ordinaires pour élever de l'eau dans le réservoir de La Guillotière près le fort de La Motte.

Les pompes de ce moteur hydraulique auraient pris de l'eau dans un puisard établi dans les graviers d'alluvion de l'île formée par l'ancien et le nouveau lit du Rhône, en admettant le système de construction ci-dessus, déterminé pour les puisards de l'île Lambert.

Un pont suspendu pour piétons aurait été substitué au bac à traîlle servant à communiquer du Petit-Brotteau au grand camp, non seulement pour qu'il y eût une communication directe et facile entre les deux établissements, et, en conséquence, une même direction et une surveillance constante, mais encore pour qu'on pût, au besoin, dans un certain avenir, poser une conduite entre l'établissement principal et l'origine de la conduite partant des pompes et moteurs hydrauliques.

Le pont suspendu aurait été rendu le plus rigide possible à cet effet.

Entre l'établissement principal des Petits-Brotteaux et le réservoir

du fort de Montessuy, on aurait posé deux conduites principales de 0^m.60 de diamètre chacune. Ces conduites auraient été disposées pour que l'une d'elles suffise pour élever dans le réservoir la quantité d'eau voulue en douze heures, et pour que la seconde ne servit, en conséquence, que de rechange pour le cas d'avarie à l'autre.

On aurait posé également, dans le même système, deux conduites de 0^m.60 de diamètre chacune, entre l'établissement principal des Petits-Brotteaux et le second réservoir près le chemin du faubourg de Bresse à Caluire.

Les deux réservoirs ci-dessus indiqués auraient été mis en communication entre eux, soit au moyen de conduites principales, soit au moyen d'une conduite spéciale de 0^m.20 de diamètre.

Une conduite spéciale de 0^m.50 de diamètre aurait été placée entre le moteur hydraulique et le réservoir du fort de La Motte. Cette conduite aurait suivi l'avenue de Vendôme, la rue de Moncey et la rue de la Croix.

Une conduite de 0^m.50 de diamètre partant du réservoir du fort de Montessuy, se dirigeant par le chemin de Rilleux et la grande rue de la Croix-Rousse pour gagner la barrière dudit nom, aurait suivi la rue de la Grande-Côte, et, gagnant la rue centrale, serait passée sur le pont de Nemours, pour arriver près du temple protestant.

A partir de ce point, la conduite aurait été divisée en trois autres conduites principales. L'une de ces conduites, de 0^m.35 de diamètre, dirigée sur Vaize par la ligne des quais, serait venue aboutir au rond-point de cette localité.

Une seconde conduite, de 0^m.25 de diamètre, serait allée jusqu'à la porte Saint-Just, en suivant le pied du coteau de Fourvières et passant devant les Lazaristes, le dépôt de mendicité et l'hospice de l'Antiquaille.

La troisième, suivant la rue Tramassac, la rue Saint-Georges, aurait abouti à la porte de la Quarantaine.

Deux conduites principales, de chacune 0^m.50 de diamètre, partant du réservoir du chemin de Boutary, suivant le quai des fau-

bourgs de Bresse et de Saint-Clair, seraient amenées par la rue des Deux-Angles près le séminaire, où elles se seraient séparées.

L'une d'elles aurait suivi la rue du Griffon pour gagner la place des Terreaux ; elle aurait passé par les rues Clermont et Syrène, longé l'église Saint-Nizier, et serait arrivée vis-à-vis cette église au même point que la conduite principale du haut service, avec laquelle elle aurait pu être mise en communication directe ; elle se serait dirigée ensuite par la rue Centrale vers le quai des Célestins, pour arriver au port du Roi, à l'entrée du pont de Tilsitt ; dans cette dernière partie, son diamètre aurait été réduit à 0^m.45.

Une nouvelle réduction de 0^m.10 aurait été faite sur le diamètre de cette conduite principale, qui, suivant, à partir du port du Roi, les rues du Plat, de l'Arsenal et de Vanbecourt, aurait abouti à la place Napoléon.

Elle aurait longé ensuite la rue d'Alger et serait venue s'arrêter à la rue Casimir-Perrier. Dans cette dernière partie, son diamètre n'aurait été que de 0^m.30.

La seconde conduite principale dépendant du réservoir du chemin de Boutary, se séparant de la première près le séminaire, serait venue passer au port Saint-Clair, longer les quais de Retz, des Cordeliers, de Bonne-Rencontre et de l'Hôpital, jusqu'au port de La Guillotière, où elle se serait bifurquée.

Une branche de 0^m.50 de diamètre aurait traversé le pont de La Guillotière, pour rejoindre la conduite principale du bas service à l'angle des cours Bourbon et de Bresse.

Une autre branche, de 0^m.35 et de 0^m.30 de diamètre, aurait suivi le quai de la Charité et la chaussée Perrache, pour venir s'arrêter encore à la rue Casimir-Perrier.

Les deux conduites principales venant du réservoir du chemin de Boutary, qui se séparaient près le séminaire, auraient été reliées ensemble par des conduites de répartition, notamment à la rue Louis-le-Grand, à la rue Sainte-Hélène, à la place Louis-Napoléon et à la rue Casimir-Perrier.

L'une de ces conduites, celle passant par le port Saint-Clair, aurait été reliée, en outre, à la conduite principale de La Guillotière par le pont et le cours Morand.

On aurait établi, en outre, des répartiteurs, d'abord conformément aux indications du plan, et ensuite selon les besoins du service.

Les besoins du service pour les distributions publiques et particulières auraient déterminé enfin la direction et l'importance des sous-répartiteurs qu'il y aurait eu à ajouter lorsque l'administration municipale aurait fixé non seulement les emplacements des bornes-fontaines et bouches d'arrosage, mais encore la direction et l'emplacement des diverses galeries d'égouts, comme la réserve en était faite par les conditions du programme imposé.

En se rappelant la position des trois réservoirs, la direction des diverses conduites principales et les dispositions prises pour les mettre entre elles en communication directe, on reconnaîtra :

1° Que les réservoirs étaient eux-mêmes en communication, c'est-à-dire que les eaux du réservoir du fort de Montessuy pouvaient se déverser non seulement dans le réservoir du chemin de Boutary, mais encore dans celui du fort de La Motte, et que ce dernier réservoir pouvait être rempli avec des eaux provenant du réservoir du chemin de Boutary ;

2° Que les distributions pour tous les services pouvaient avoir lieu avec les eaux du réservoir du fort de Montessuy, et que les distributions du service intermédiaire et du bas service étaient assurées elles-mêmes par les eaux du réservoir du chemin de Boutary ;

3° Et enfin que, dans le cas de chômage, pour quelque cause que ce soit, au moteur hydraulique, le service dans La Guillotière était assuré par l'établissement principal des Petits-Brotteaux.

Nous pensons donc qu'au moyen de toutes ces dispositions, toutes les conditions du programme auraient été complètement assurées quant à la question des eaux.

Nous n'avons pas besoin de faire observer que nous avons même été au dessus des prescriptions du programme, puisque :

D'une part, toutes nos dispositions étaient combinées de telle sorte que nous pouvions porter à 2400^m le volume d'eau à distribuer par jour, si plus tard les besoins des services publics et particuliers nécessitaient cette augmentation, et qu'il n'y avait pas de maison à la proximité des conduites où l'on ne pût donner de l'eau jusque dans les étages supérieurs ;

Et que, d'autre part, d'après les positions des réservoirs du fort de Montessuy et du chemin de Boutary et les directions que nous avons cru devoir donner aux conduites principales partant de ces réservoirs, on aurait été en mesure de faire des distributions d'eau dans la Croix-Rousse et dans tous les établissements industriels des faubourgs de Bresse et Saint-Clair.

Un autre avantage, enfin, ressortait de ces dispositions, c'est que l'emploi combiné de moteurs à vapeur et hydrauliques permettait de réduire au chiffre le plus bas possible les dépenses de combustible, qui s'élevaient à peine dans notre système à 140 francs par jour.

Galeries d'égouts.

Relativement aux galeries d'égouts, on s'était borné dans le programme à indiquer les types ainsi que les longueurs à exécuter pour chaque type, et l'administration municipale s'était réservé de déterminer ultérieurement leurs emplacements. Nous n'avions donc que quelques mots à dire à ce sujet.

Dans la partie haute de la ville de Lyon, c'est-à-dire entre les fortifications vers la Croix-Rousse et le pied du coteau à Vaize et à Sainte-Irénée, le choix de l'emplacement de ces égouts ne présentait ni difficulté, ni incertitude.

Il était aussi très facile de déterminer le système à suivre pour le réseau de ces galeries dans la partie basse de la ville, entre le Rhône et la Saône, attendu qu'il y a des lignes de faite assez prononcées pour marquer la place des égouts principaux et secondaires.

Il n'en était pas de même dans le 3^e arrondissement, qui se trouve

dans une plaine presque de niveau ; il y aurait eu à examiner pour cette partie de l'agglomération lyonnaise s'il n'était pas convenable d'établir une artère principale partant d'un point pris sur la digue de l'île d'Or, traversant le Grand-Camp, suivant le chemin du Grand-Camp, traversant les Charpennes, longeant l'avenue et la rue dudit nom, et venant aboutir par la rue Saint-André à l'ancien lit du Rhône près la Cristallerie. Dans cette situation, cette artère principale pouvait être lavée facilement par les eaux du Rhône, lorsqu'on l'aurait jugé convenable.

Évaluation des dépenses.

Pour évaluer maintenant les dépenses de premier établissement à faire dans le système que nous avons adopté, nous en faisons la division en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous indiquons les dépenses pour acquisitions de terrains, établissement de prises d'eau, réservoirs, etc.

Le deuxième chapitre comprenait tout le système de distribution d'eau.

Et dans le troisième chapitre, enfin, nous donnions l'évaluation des galeries d'égouts, avec leurs regards, etc.

CHAPITRE I.

ÉTABLISSEMENT DES PRISES D'EAU.

Acquisition de la majeure partie des terrains disponibles dans l'île Lambert, ou mieux des Petits-Brotteaux, et sur l'autre rive du fleuve, 100,000 fr.

Galerie filtrante établie parallèlement au lit du Rhône et disposée de manière à donner de l'eau dans les puisards où les pompes seraient venues la prendre —————
A reporter 100,000 fr.

	Report	100,000 fr.
dre pour l'élever dans les divers réservoirs		300,000
Trois machines à vapeur de la force de cent cinquante chevaux chacune, avec leurs chaudières, leurs pompes, les clapets, etc., etc., à raison de 1,200 fr. par force de cheval		540,000
Chaudière et pompe de rechange, avec le bâtiment pour les contenir.		40,000
Bâtiment des machines, y compris la maçonnerie de fondations, la cheminée, etc.		100,000
Bâtiment pour Bureau de l'administration, maison de concierge, clôtures et travaux d'appropriation des Petits-Brotteaux		120,000
Établissement d'un moteur hydraulique de trente à quarante chevaux de force utile avec chenal de prise d'eau, chenal de fuite, cage de la roue hydraulique, maison de gardien et puisard filtrant		150,000
Trois réservoirs en maçonnerie et couverts pouvant contenir chacun de 3,000 à 4,000 ^m d'eau, avec maisons de gardiens et appareils spéciaux, à raison de 100,000 fr. par chacun d'eux.		300,000
		<hr/>
Total général		1,650 000 fr.
		<hr/> <hr/>

CHAPITRE II.

SYSTÈME DE DISTRIBUTION D'EAU.

Art. 1^{er}. Conduites spéciales pour le service des réservoirs.

2,900 ^m courants de conduites de 0 ^m .60 de diamètre, à raison de 90 fr. le mètre, y compris toute fourniture et main-d'œuvre, et même l'immersion dans de l'huile bouillante	261,000 fr.
350 ^m courants de conduites de 0 ^m .25 pour mettre	— — — — —
	261,000 fr.

	Report	261,000 fr.
en communication les deux réservoirs, à raison de		
32 fr., comme dessus		11,200
		<hr/>
		272,200
A valoir pour ventouses, regards, robinets, van-		
nes et autres dépenses imprévues, 1/10 environ		27,800
		<hr/>
Total		300,000 fr.

Art. 2. Système de distribution pour le haut service.

1° 4660 mètres de conduites de 0 ^m .50 de diamètre,		
à 70 fr. le mètre, y compris toute fourniture et main-		
d'œuvre, et même l'immersion dans		
l'huile, ci	326,200 fr.	
2° 2,300 ^m de conduites de 0 ^m .35		
à 45 fr. 50, comme dessus, ci.	104,650	
3° 6,420 ^m de conduites de 0 ^m .25		
à 32 fr., idem.	205,440	
4° 930 ^m de conduites de 0 ^m .19		
à 25 fr., ci	23,750	
5° 1,840 ^m de conduites de 0 ^m .162		
à 20 fr. 50, id.	37,720	
6° 7,200 ^m de conduites de 0 ^m .108		
à 14 fr., id.	100,800	
7° 20,000 ^m de conduites de 0 ^m .08		
à 11 fr.	220,000	
8° 88 bornes-fontaines ou bou-		
ches d'arrosage à 250 fr. en		
moyenne, y compris les conduites		
spéciales	22,000	
9° 120 robinets-vannes de divers		
	<hr/>	<hr/>
A reporter	1,040,560 fr.	300,000 fr.

Report	1,040,560 fr.	300,000 fr.
diamètres, à 800 fr. en moyenne, y compris les tampons des regards.	96,000	
	<hr/>	
Total	1,136,560	
A valoir pour ventouses, tuyaux divers et autres dépenses impré- vues	113,440	
	<hr/>	
Total.	1,250,000	1,250,000

Art. 3. Système de distribution pour le service intermédiaire, y compris la conduite de secours pour le réservoir de la Guillotière.

1° 3,500 mètres courants de conduites de 0 ^m .50 de diamètre à 70 fr. le mètre pour fourniture et main-d'œuvre et l'immersion dans l'huile, etc.	245,000 fr.	
2° 1,020 ^m de conduites de 0 ^m .45 à 61 fr. 50, comme dessus. . . .	62,730	
3° 860 ^m de conduites de 0 ^m .35 à 45 fr. 50, comme dessus	40,495	
4° 1,030 ^m de conduites de 0 ^m .30 à 39 fr., comme dessus.	40,190	
5° 1,140 ^m de conduites de 0 ^m .25 à 32 fr., comme dessus.	35,520	
6° 1,020 ^m de conduites de 0 ^m .19 à 25 fr., comme dessus.	25,500	
7° 840 ^m de conduites de 0 ^m .162 à 20 fr., comme dessus.	17,220	
8° 1.870 ^m de conduites de 0 ^m .135 à 16 fr. 50, comme dessus	30,855	
9° 5,090 ^m de conduites de	<hr/>	
A reporter	497,510 fr.	1,550,000 fr.

Report	497,510 fr.	1,550,000 fr.
0 ^m .108 à 14 fr., comme dessus .	85,260	
10° 35,000 ^m de conduites de		
0 ^m .081 à 11 fr., comme dessus .	385,000	
11° 140 bornes-fontaines et bou-		
ches d'arrosage à 250 fr. . . .	35,000	
12° 140 robinets-vannes à 800		
fr. en moyenne,	112,000	
	<hr/>	
Total	1,114,770	

13° 5,600 mètres
courants de conduites
de 0^m.50 de diamètre,
à 70 fr. 392,000 fr.

14° 940^m de 0.35
à 45 fr. 50, ci. . . . 42,770

15° 1,100^m de
0^m.30 à 39 fr., ci . . . 42,900

16° 12 robinets-
vannes à 800 fr. . . . 9,600 487,270

Total

1,602,040

A valoir pour ventouses, tuyaux
divers et autres dépenses impré-
vues 197,960

Total. .

1,800,000 1,800,000

Art. 4. Système de distribution dans la Guillotière.

1° 3,790 mètres de conduites de 0^m.50 à 70
fr. le mètre tout posé, y compris toute four-

A reporter

3,350,000

	Report	3,350,000 fr.
niture et main-d'œuvre et l'immersion dans l'huile	265,300 fr.	
2° 1,460 ^m de conduites de 0 ^m .25 à 32 fr., comme dessus,	46,720	
3° 2,800 ^m de conduites de 0 ^m .19 à 25 fr., comme ci-contre	70,000	
4° 960 ^m <i>id.</i> de 0 ^m .162 à 20 fr. 50.	19,680	
5° 300 ^m <i>id.</i> de 0 ^m .135 à 16 fr. 50.	49,500	
6° 6,460 ^m <i>id.</i> de 0 ^m .108 à 14 fr.	90,440	
7° 25,000 ^m <i>id.</i> de 0 ^m .81 à 11 fr.	275,000	
8° 106 bornes-fontaines et bou- ches à 250 fr., y compris tous les accessoires et la pose	26,500	
9° 100 robinets-vannes de divers diamètres à 800 fr. en moyenne, y compris les puits des regards. . . .	80,000	
	<hr/>	
Total.	923,140 fr.	
A valoir pour ventouses, tuyaux divers, passage sur le pont et autres dépenses imprévues	76,860	
	<hr/>	
Total.	1,000,000	1,000,000
	<hr/>	
Total général.	4,350,000 fr.	<hr/> <hr/>

CHAPITRE III.

GALERIES D'ÉGOUTS AVEC REGARDS, ETC.

1° 12,000 mètres courants de galeries d'égouts de première classe de 1 ^m de largeur et de 2 ^m à 1 ^{m.60} de hauteur, à 127 fr. 50 c.	1,530,000 fr.
2° 3,000 mètres courants de galeries d'égouts de deuxième classe de 0 ^{m.90} de largeur et de 2 ^m à 1 ^{m.60} de hauteur, à 120 fr.	360,000
3° 5,000 mètres courants de galeries d'égouts de troisième classe de 0 ^m 80 de largeur et de 2 ^m à 1 ^{m.50} de hauteur, à 110 fr.	550,000
4° 250 bouches sous trottoirs à 600 fr.	150,000
5° 250 trappes de regards à 400 fr., y compris les puits.	100,000
	<hr/>
Total.	2,690,000
A valoir pour entrée en rivière, épuisements et autres dépenses imprévues, etc.	310,000
	<hr/>
Total.	3,000,000
Report du premier chapitre.	1,650,000
— deuxième chapitre	4,350,000
	<hr/>
Total général.	9,000,000
A ajouter pour frais généraux d'administration, frais de conduite et d'études, et pertes d'intérêts pendant la construction	1,000,000
	<hr/>
Total général.	<u>10 000,000</u>

*Système financier, taux de l'intérêt garanti par la ville,
durée de la concession, etc.*

Le chiffre de la dépense maxima étant ainsi fixé, il reste à dire quelques mots relativement au système financier, au minimum du taux de l'intérêt à garantir par la ville, à la durée de la concession et à la participation de la ville au bénéfice net.

Et d'abord la question qui dominait toutes les autres, c'était le taux de l'intérêt à garantir par l'administration municipale de l'agglomération lyonnaise pendant la durée de la concession.

Nous ne voyions pas que cet intérêt pût être inférieur à 4 p. 100 : c'est en effet le minimum du taux d'intérêt garanti alors par le gouvernement dans la concession des nouvelles lignes de chemins de fer qui ont été faites à cette époque, et, pour plusieurs des nouvelles concessions, le taux de l'intérêt garanti avait été porté à 4 1/2 p. 100, et même à 5 p. 100.

C'est enfin le taux minimum qui pût être admis rationnellement pour l'emploi des capitaux dans une opération de la nature de celle qui nous occupe, et il doit paraître évident que, si cette opération ne devait rapporter en définitive que 4 p. 100 des capitaux employés, elle aurait dû être considérée comme une affaire très médiocre, et même comme une mauvaise affaire, puisque, dans bien des circonstances, le gouvernement avait admis que les capitaux engagés dans des entreprises industrielles devaient rapporter au moins un intérêt de 6 p. 100.

En admettant le minimum de 4 p. 100 pour taux de l'intérêt à garantir par la ville, c'eût été le même taux qu'il aurait fallu admettre naturellement pour servir l'intérêt aux actionnaires pendant la durée de la concession et pour baser l'amortissement pendant la durée de la concession.

Quelle pouvait être cette durée de concession ?

Avant de traiter cette question, il faut examiner celle relative au délai d'exécution des travaux.

D'après le programme, le délai, à partir de l'homologation, devait être de deux ans pour les travaux comprenant :

1° La partie de la ville comprise entre les deux rivières, le mur d'enceinte de la Croix-Rousse et le cours Napoléon ;

2° Toute la partie du 5^e arrondissement limitée par un plan passant à 30^m au dessus de l'étiage du pont de Tilsitt,

3° Et la partie habitée de la Guillotière.

L'affaire devait être développée ensuite de manière qu'au bout de six ans on pût alimenter toute l'agglomération lyonnaise, à l'exception du quartier de l'Ouest, au dessus d'un plan passant à 90^m au dessus de l'étiage du pont de Tilsitt, et tout le 4^e arrondissement.

Et maintenant le délai d'exécution comme condition imposée et sous le rapport des pénalités dans le cas de retard, ce n'était pas évidemment ainsi que la compagnie adjudicataire devait procéder pour développer l'affaire et arriver à tirer profit dans le plus bref délai possible des dépenses à faire.

Les plus grandes dépenses devaient être faites immédiatement, c'est-à-dire qu'il fallait former immédiatement, et dans le délai de deux ans au plus, l'établissement de prise d'eau au Petit-Brotteau, et même au besoin l'établissement de prise d'eau sur l'autre rive du Rhône.

Il fallait aussi, dans le même délai, établir les réservoirs, poser les conduites principales et les répartitions dans la majeure partie de leur développement et établir le plus grand nombre de bornes-fontaines.

Eh bien ! il fallait pouvoir tirer parti de tous ces travaux, et, pour obtenir ce résultat, il n'y avait pas à hésiter ; l'œuvre devait être complétée sans désespérer, c'est-à-dire qu'il aurait fallu achever la pose de toutes les conduites principales et de répartition de telle sorte que, dans toute l'agglomération lyonnaise, on n'ait plus eu à s'occuper que de l'établissement de sous-répartitions au fur et à mesure des demandes particulières et du complément des indications

à donner par l'administration municipale pour complément des bornes-fontaines ou bouches d'arrosement.

Les travaux devaient être à ce degré d'avancement dans le délai de trois ans après l'homologation du traité, de telle sorte que ce n'aurait été que pendant ce délai qu'il y aurait eu à servir des intérêts aux actionnaires, et c'est ainsi que nous admettions le développement de l'affaire pour l'entreprise industrielle.

Ceci posé, et le taux de l'intérêt fixé, on sait que l'amortissement a lieu, savoir :

En 94 ans,	70	avec 0.10 p. 100.
En 72 id.		avec 0.25.
En 56 id.		avec 0.50.
Et en 41 id.		avec 1.00.

Dans la première hypothèse, l'annuité aurait dû être de	10,000
Dans la deuxième, de	25,000
Dans la troisième, de	50,000
Et dans la quatrième, de	100,000

C'est évidemment dans ces limites qu'il fallait rester pour la durée de la concession.

Pour une durée de quarante-un ans, l'annuité aurait été évidemment trop forte, notamment parcequ'elle aurait grevé l'affaire dès son début d'une charge considérable. Il ne serait même pas dans l'intérêt de la ville qu'il en eût été ainsi.

L'annuité aurait été beaucoup plus faible pour quatre-vingt-quinze ans, mais ce serait un vrai bail emphytéotique, et, bien qu'il y avait pour la ville faculté de rachat au bout de trente ans, une durée de concession aussi longue pouvait avoir des inconvénients pour tous les intérêts.

Dans cette situation, nous pensons qu'on pouvait admettre soit la durée de cinquante-six ans, avec l'annuité de 50,000 fr., soit celle de soixante-douze ans, en réduisant alors l'annuité à 25,000 fr.

Cette durée de concession pouvait courir trois ans après l'homologation.

logation du traité de concession, de telle sorte que la durée totale aurait été de soixante-quinze ans dans le premier cas, et de cinquante-neuf ans dans le second.

Relativement à la question de participation de la Ville dans les bénéfices nets, il aurait fallu s'en tenir aux précédents établis par le gouvernement lui-même dans les concessions de chemins de fer qu'il a faites dans le système de la loi de 1842.

On disait dans le cahier des charges que l'état entrerait en partage par moitié des bénéfices nets, après le prélèvement de 8 p. 100, pour intérêts et amortissement, basé sur une annuité de 1 p. 100.

L'amortissement ne devait être basé, dans l'espèce, que sur une annuité de $1/4$ ou $1/2$ p. 100. Ce n'aurait donc été qu'après prélèvement de $7\ 1/4$ ou $7\ 1/2$ p. 100 que l'on pouvait admettre la ville à participer par moitié dans les bénéfices nets.

RÉSUMÉ.

En résumé :

Comme système de prise d'eau, nous admettions l'emploi simultané de moteurs à vapeur et de moteurs hydrauliques, le premier de ces moteurs pouvant suppléer l'autre dans le cas de chômage.

Nous admettions l'établissement de trois réservoirs placés, au minimum, l'un à 100^m, l'autre à 40^m et le troisième à 25^m au dessus de l'étiage du pont de Tilsitt, et mis en communication les uns avec les autres au moyen de conduites disposées à cet effet.

Nous proposons d'établir les conduites principales, les répartitions et les sous-répartitions diverses, dans les rues, cours et quais indiqués au plan ci-annexé, sauf à modifier ultérieurement ces directions, si une étude plus approfondie en faisait reconnaître la nécessité.

Nous pensons que le maximum du capital à dépenser devait être fixé à dix millions, chiffre admis par le programme :

Que l'affaire devait être développée de telle sorte que, tout en maintenant le délai de rigueur imposé par le programme, on fût en mesure au bout de trois ans de satisfaire aux services publics et aux

demandes de concessions particulières dans les conditions admises ;

Que le taux de l'intérêt à garantir par la ville, pendant la durée de la concession, pût être fixé à 4 p. 100 ;

Que la durée de la concession pouvait être soit de cinquante-six ans avec une annuité de 50,000 fr. par an, basée sur 1/2 p. 100 du capital, soit de soixante-douze ans avec une annuité de 25,000 fr., basée sur 1/4 p. 100, et que cette durée de concession pouvait courir à dater de l'époque ci-dessus déterminée (trois ans après l'homologation du traité par l'administration supérieure) ;

Et que la ville pouvait être appelée à partager les bénéfices après le prélèvement soit de 1/4 p. 100, soit de 7 1/2 p. 100, selon que l'on demanderait la concession pour soixante-quinze ans ou pour cinquante-neuf ans ;

Et qu'enfin il y avait lieu de s'en référer, dans la soumission, aux observations faites dans le cours du présent mémoire relativement aux diverses conditions et prescriptions du cahier des charges.

**Note sur les divers tracés proposés pour la ligne
du chemin de fer de Bayonne à Madrid, et plus
particulièrement sur celui qui passerait par la
Navarre.**

(PAR M. BÉVAN DE MASSY.)

La question du chemin de fer du nord de l'Espagne est, on le sait, de la première importance pour ce pays, et malheureusement elle paraît encore loin d'être résolue d'une manière satisfaisante; l'intrigue, les intérêts particuliers, des difficultés de tous genres, se sont élevés, et l'on a fait du chemin de fer une question politique.

Il n'entre pas dans ma pensée, et ce n'est point ici le cas, de m'étendre sur ces considérations; ceux qui, comme moi, ont suivi de près le cours des événements dans ce pays pendant les deux dernières années comprendront facilement combien il est déplorable que le progrès d'une nation qui est appelée par sa position et ses ressources naturelles à être une des premières de l'Europe soit entravé par les menées de quelques ambitieux.

Différents tracés ont été proposés pour la ligne du Nord, dans la partie comprise entre la frontière de France et l'Èbre; je vais les passer successivement en revue.

PREMIER TRACÉ.

En 1844, il fut fait un tracé qui partait d'Yrun, passait par San-Sebastian, puis, s'inclinant vers l'ouest, allait chercher Bilbao, pour retourner ensuite vers l'Èbre, à Miranda. Cette ligne, ainsi que le savent ceux qui ont parcouru le terrain, serait d'une exécution excessivement coûteuse; il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte pour juger des désavantages d'une pareille direction. En effet, pourquoi les voyageurs et les marchandises destinés à Madrid et à tout le midi de l'Espagne seraient-ils obligés de faire un détour considérable pour le seul avantage de faire passer la ligne par Bilbao? Le port de cette ville est loin d'être des meilleurs; il ne paraît pas devoir croître en

importance, tandis que Santander est destiné à absorber par la suite le commerce du nord. Dans le courant de cette année, un chemin de fer reliera Santander au canal de Castille et aux vastes plaines des deux Castilles, qui trouveront ainsi des débouchés assurés et des transports faciles. Dans ce moment même (je dois le dire en passant), une compagnie s'occupe de faire des endiguements nécessaires, qui transformeront son immense baie en un port où les navires pourront en tout temps se réfugier en sécurité.

Le tracé par Bilbao présente encore le désavantage de laisser de côté toute la province de Guipuzcoa et la plus grande partie de celle de Alava; cependant ces contrées, ainsi que la Biscaye et la Navarre, ont su par leur industrie s'élever au premier rang des provinces espagnoles.

DEUXIÈME TRACÉ.

En 1852 j'ai coopéré, sous la direction de MM. de Wissoeq et Guillot, ingénieurs français, à un tracé qui, partant d'Yrun et passant par les Passages, San-Sebastian, Tolosa Alsasua et Vittoria, va retrouver l'Èbre à Miranda.

Les travaux d'art à exécuter sur cette ligne seraient importants. Il y aurait trois tunnels, dont deux, l'un entre Yrun et Passages, l'autre à Lasarte, auraient de 5 à 600 mètres de longueur, le troisième, à Alsasua, en aurait 2,000. Les ponts et viaducs sont nombreux et d'une grande élévation, les plus petites courbes de 500 mètres de rayon. En augmentant les pentes, qui, dans ce projet n'ont été calculées qu'à 12 millimètres par mètre au maximum, on arriverait à diminuer considérablement l'importance des travaux d'art dont je viens de parler. Dans tous les cas, cette ligne serait moins coûteuse et infiniment plus directe que la première dont il a été question. A Vittoria pourrait être fait un embranchement qui irait à Bilbao.

Ces études ont été faites avec le plus grand détail.

TROISIÈME TRACÉ.

En septembre 1853 j'ai été chargé de reconnaître toute la partie de la chaîne des Pyrénées comprise entre Saint-Jean-Pied-de-Port et Yrnn, afin de rechercher si le passage était possible sur ces terrains pour une ligne de chemin de fer. A la suite de cet examen, j'ai été amené à reconnaître qu'il n'existait aucune impossibilité majeure, et dès lors je me suis appliqué à trouver le point de passage le plus favorable.

J'ai constaté qu'il existait trois directions générales méritant d'être prises en considération (je dis générales parceque je ne doute pas qu'après un examen plus approfondi que celui qu'il m'était permis de faire, l'on arriverait à des modifications plus ou moins importantes).

La première consisterait à suivre le cours de la Bidassoa, à le quitter en arrivant à la hauteur de San-Estevan pour traverser les Pyrénées à un endroit connu sous le nom de l'Elzaburu, pour tomber ensuite dans la vallée de l'Ulzama, que l'on suivrait jusqu'à Pamplune.

La seconde remonterait le cours de la Nive pour aboutir aux Pyrénées, un peu au dessous des Alduides, et descendre en Navarre, entre Cilveti et Eugui.

La troisième partirait de la frontière à Anoa, passant par Urdax et le port de Maya, puis suivrait la vallée de Baztan, et, après avoir franchi le port de Belaté, longerait la grande route jusqu'à Pamplune.

J'examine ces trois directions :

Première direction. — Elle aurait l'avantage d'être la plus courte; mais la rivière, quoique n'ayant pas une très forte pente, présente beaucoup de sinuosités qui entraîneraient l'emploi de courbes d'un petit rayon (400 mètres, et même au dessous), de très larges tranchées, la plupart du temps dans un roc très dur, de forts remblais, et

des viaducs d'une grande élévation. Je pense que le tunnel au dessus de San-Estevan serait de la même longueur que celui du port de Belaté (3^e direction). La distance de Bayonne au point où commencerait cette direction sur le territoire espagnol est de 24 kilomètres.

Seconde direction. — C'est celle sur laquelle l'ingénieur chargé par le gouvernement français de faire pareille reconnaissance vers la même époque a paru fixer entièrement son attention ; néanmoins, en adoptant un pareil tracé, la partie du chemin de fer comprise sur le territoire français serait de beaucoup allongée, la distance de Bayonne aux Alduides étant plus du double de celle de Bayonne à Añoa ou à la Bidassoa. Les abords de la Nive, surtout dans la partie comprise entre Bigorre et les Alduides, sont accidentés, et les travaux d'art et de terrassement seraient considérables ; d'un autre côté, une portion du territoire des Alduides étant en litige entre la France et l'Espagne, et les limites restant telles qu'elles sont aujourd'hui, la totalité du tunnel serait comprise dans le territoire espagnol. Ce tunnel aurait de 7 à 8 kilomètres de longueur. Je considère par conséquent cette direction comme étant également désavantageuse aux intérêts de la France et à ceux de l'Espagne.

Troisième direction. — C'est cette troisième direction sur laquelle j'ai cru devoir plus particulièrement fixer mes préférences.

D'après un nivellement que j'ai fait faire depuis la frontière jusqu'à l'Èbre, en passant par Pampelune même, j'ai acquis la certitude que cette direction était la meilleure. Les travaux d'importance à exécuter consisteraient en deux tunnels : le premier, pour passer le port de Maya, aurait 1,200 mètres de longueur ; le second, 4,000 mètres, pour passer le port de Belaté ; en quelques viaducs variant de 30 à 80 mètres d'élévation. Quant aux ponts, ils seraient de peu d'importance.

De Pampelune partirait un embranchement sur Vittoria, passant par Alsasua ; sa construction ne présenterait aucune difficulté. Il en serait de même pour la portion du tracé comprise entre Pampelune et l'Èbre. — Toute la question se réduisait à trouver le chemin le

plus court, ce que j'ai obtenu tout en passant par Tafalla, qui est un des points importants de la partie méridionale de la Navarre. Cette contrée, qu'on nomme *la Ribera*, produit des vins en abondance. J'ai laissé sur la droite le village de Marsilla. Mon tracé continue en traversant la rivière de l'Aragon et arrive sur les bords de l'Èbre, et près de Tudela. Cette ligne se reliait en ce point à celle projetée de Madrid à Saragosse, et laquelle a été reconnue comme de première importance et approuvée par le gouvernement.

En résumé, l'établissement du chemin de fer passant par le centre de la Navarre n'exigeant que sur une très petite portion de son parcours des travaux d'une grande importance, lesquels, du reste, se retrouvent dans une proportion au moins aussi grande, quelque soit le tracé que l'on adopte; d'un autre côté, Madrid se trouvant relié ainsi à Bayonne par une voie infiniment plus courte, et par conséquent moins coûteuse qu'il ne le serait par l'une ou par l'autre des deux premiers tracés dont il a été question, je suis d'avis qu'il y aurait tout avantage à l'établissement de cette ligne.

MÉMOIRE N° XXXVIII

Sur l'extraction du jus des betteraves par la macération,

PAR M. G. BARVEAUX.

Les betteraves ont été soumises à la macération de trois manières différentes : employées vertes, elles ont été traitées à froid et à chaud ; puis enfin, avant de les soumettre à la macération, elles ont été desséchées et traitées en cet état.

Quel que soit l'état des betteraves employées, qu'elles soient traitées à froid ou à chaud, la théorie de l'opération reste la même. Ce que je dis d'un procédé s'applique donc également aux autres.

La différence qui existe entre ces trois procédés consiste en ce que, par la coction, M. de Dombasle, tout en détruisant le principe vital, faisait rompre les utricules renfermant le liquide sucré, et facilitait ainsi le mélange de ce liquide avec l'eau dans laquelle les tranches étaient immergées. A froid, M. Dawidoff a remplacé la coction par le râpage, et, lessivant ensuite la pulpe comme on lessive les cendres, il parvenait à l'épuiser. Enfin, avec les betteraves desséchées et divisées, il y a lessivage et endosmose. On voit donc qu'au fond l'opération consiste toujours en une suite de mélanges de deux liquides de densités différentes, qui tendent à s'équilibrer. Ce phénomène physique rentre sous les lois qui régissent les phénomènes analogues, et se prête à l'application des mêmes formules.

M. Goulet et moi, pendant notre séjour dans le gouvernement de Toul, où la macération était alors généralement employée, nous avons cherché à apprécier la puissance d'épuisement de ce procédé. M. le comte A. de Bobrinski, en nous recevant dans sa grande fa-

brique de Mikaelowski, où la macération froide de M. Dawidoff était employée avec succès, nous donna le moyen de faire une étude approfondie.

Comme, pour l'intelligence des résultats que je me propose d'indiquer, il faut être bien éclairé sur l'opération, je crois indispensable de l'exposer succinctement.

M. Mathieu de Dombasle a le premier employé la macération des betteraves, coupées en tranches minces, pour en extraire le jus. De nombreux essais lui ayant démontré qu'il était possible d'obtenir par ce moyen plus de jus que par la pression, il s'est efforcé de rendre ce procédé manufacturier. Son appareil était composé de six chaudières ou cuves sur leurs foyers. Dans la première cuve, ayant mis un certain poids de tranches de betteraves, il y ajoutait une quantité d'eau à peu près égale à la quantité de jus contenu dans les tranches, et il faisait bouillir jusqu'à ce que le mélange du jus avec l'eau fût complet. La quantité de liquide sucré de la racine était également répartie dans le mélange, en sorte qu'en enlevant les tranches, le liquide restant retenait la moitié du sucre. Ce liquide recevait de nouvelles tranches, s'enrichissait par conséquent encore, et ainsi de suite, jusqu'à ce que sa densité fût à peu près égale à celle du jus contenu dans les tranches neuves. En marche régulière, la cuve n° 1 contenait de l'eau et des tranches qui macéraient pour la sixième fois; le n° 2 du liquide ayant macéré avec des tranches telles que celles contenues dans le n° 1, des tranches en macération pour la cinquième fois, et ainsi de suite, en sorte que l'eau, successivement en contact avec des tranches de plus en plus riches, à mesure qu'elle avait absorbé plus de sucre, finissait pour ainsi dire par se transformer en jus; tandis que les tranches, cédant à chaque opération une portion de leur jus, sortaient imprégnées d'eau presque pure.

Dans la macération froide de M. Dawidoff, la pulpe ne change plus de cuve, mais l'eau, par une différence de niveau, passe successivement, à mesure qu'elle s'enrichit en jus, sur de la pulpe plus riche qu'elle. Il y a simplification de travail, mais cette économie ne com-

pense pas l'avantage 1^o d'éviter les fausses voies que le liquide se fraie à travers la pulpe, 2^o de faire éprouver aux racines macérées la pression qui résulte du transport des tranches, 3^o d'obtenir le jus plus rapidement. La Commission industrielle chargée de constater les résultats obtenus par M. de Dombasle a dit : « Nous ne savons à quoi attribuer l'excès de rendement de ce procédé ; cependant il est bien supérieur au rendement ordinaire. Cela tenait précisément aux avantages que je viens d'indiquer. Pour obvier à l'inconvénient des fausses voies dans la macération à froid, on faisait des fouillages ; mais on ne pouvait compenser l'avantage du transport, qui faisait que les tranches égouttées se trouvaient en contact dans le nouveau cuvier, où elles entraient avec une quantité de liquide plus grande que celle qu'elles contenaient, avantage immense. La supériorité du procédé Dombasle tient surtout au transport, que l'on s'est efforcé de supprimer dans tous les appareils imaginés postérieurement. Pour le prouver, je suppose que les 100 kilogr. de racines coupées en tranches soient mises à macérer avec 100 litres d'eau, ainsi que le faisait M. de Dombasle : les 100 kilogr. de tranches, contenant 91 litres de jus normal à 7^o.50 de B., les mélanges se font par volumes inégaux et d'après la formule de l'épuisement $\frac{k^n - 1}{k(k_n + k - 2)}$. Si l'on retire un volume égal au volume injecté après 7 lixiviations, ce liquide contiendra 82 litres de jus normal ; sans transport, l'épuisement est 0,901, et le volume soutiré marquera 6^o.25 de B. ; mais le transport a tout changé : le volume de liquide soutiré est plus grand que le volume de liquide injecté. Cette augmentation de volume tient à ce qu'après le mélange opéré au sortir de chaque cuvier, le poids des tranches dans les sacs fait écouler une partie du liquide qu'elles contenaient. Ainsi chaque cuvier, outre ce qu'il acquiert par le mélange, reçoit une partie du jus pour ainsi dire d'expression. Pour trouver ce volume supplémentaire de jus, il faut remarquer que le volume de jus total obtenu avant la défécation est 110 litres, marquant 6^o.50 refroidi, c'est-à-dire ayant pour densité 1,042, 0^o.50 provenant de l'évaporation.

En désignant par x et y les volumes de jus et d'eau contenus dans le mélange total, on a

$$x + y = 110 \text{ litres et } x \times 1,054 + y \times 1 = 110 \times 1,042,$$

d'où

$$y = 24^{\text{lit}},63 \text{ et } x = 85,37.$$

Or, par les mélanges, on a obtenu 82 litres ; le transport a donc produit un épuisement plus complet de $3^{\text{lit}},37$.

Toutes les fois qu'on a supprimé le transport des tranches, le mélange a été moins complet ; la durée de l'opération, pour obtenir le même épuisement, a été prolongée : on a donc perdu en qualité de jus et en quantité.

Maintenant que je crois avoir rendu intelligible le procédé en général, sans rappeler les différents systèmes imaginés et tous abandonnés aujourd'hui, excepté dans quelques gouvernements de Russie, tels que ceux de Karkoff, de Pultava, où la fabrication est la moins avancée, je vais exposer l'analyse de l'opération.

Pour généraliser, nous avons désigné par t le titre ou la richesse en jus du mélange définitivement obtenu, c'est-à-dire que, le volume du mélange qui s'écoule étant représenté par 1, celui du jus normal sera t , et celui de l'eau $(1 - t)$.

A Mikaelowski, l'eau était injectée en volume égal au volume du jus contenu dans la pulpe ; d'ailleurs, le mélange soutiré étant égal au volume du mélange injecté, nous avons trois volumes égaux entre eux et à l'unité.

Puisque t représente le volume de jus normal contenu dans le mélange soutiré, on a pour le N^e cuvier :

$$A_n = Dt + d(1 - t) \quad (a),$$

D représentant la densité du jus normal,

d la densité de l'eau,

N le nombre des cuiviers employés,

A la densité des mélanges,

n un nombre quelconque.

La densité du mélange dans un cuvier de rang quelconque sera

$$A_n = D[(N-n+1)t - (N-n)] + (N-n+1)d(1-t) \quad (b).$$

Si, étant donné un nombre de cuviers N déterminé, on désire connaître le degré d'épuisement de la pulpe au sortir du dernier cuvier, en remplaçant n par 1 dans la formule (a), on a la densité normale du mélange dans le cuvier n° 1; d'ailleurs, les volumes d'eau et de jus étant, dans ce cuvier, inverses de ceux du cuvier de tête, c'est-à-dire que l'on a $(1-t)$ en jus et t en eau, la densité du mélange est $A = D(1-t) + dt$; en égalant cette valeur à celle obtenue pour A de la formule (b), et résolvant par rapport à t , on trouve ce résultat, d'une simplicité remarquable :

$$t = \frac{N}{N+1} \text{ indépendant de } D \text{ et de } d.$$

Si nous cherchons suivant quelle loi l'accroissement de richesse a lieu dans les mélanges en passant d'un cuvier à l'autre, on voit que les richesses en jus, qui sont les coefficients de D , sont t , $2t-1$, $3t-2$, et donnent

$$(2t-1) = \frac{N-1}{N+1} \quad (3t-2) = \frac{N-2}{N+1}, \text{ et ainsi de suite.}$$

La différence de richesse dans deux cuviers successifs est donc de $\frac{1}{N+1}$; par conséquent, on peut connaître de prime-abord la richesse dans un cuvier de rang quelconque n : elle est $\frac{n}{N+1}$. La pulpe abandonnée, par exemple, a pour titre en jus normal $\frac{1}{N+1}$. S'il y a 7 lixiviations, $N=7$, $\frac{1}{N+1} = \frac{1}{8}$: cette pulpe a donc perdu $\frac{7}{8}$; l'épuisement est 0,875 du volume total du jus, résultat parfaitement d'accord avec l'expérience.

Nous avons vérifié cette formule, et voici le tableau comparatif des résultats obtenus en moyenne pendant une campagne, avec les expressions données par la formule

Résultats obtenus.

N ^o des cuviers.	Pratiques.	Théoriques.
1	1 ^o ,50 B.	1 ^o ,44 B.
2	2 ^o	2 ^o ,74
3	2 ^o ,75	3 ^o ,92
4	3 ^o ,75	5 ^o ,21
5	5 ^o ,20	6 ^o ,45
6	7 ^o ,60	7 ^o ,60
7	8 ^o ,75	8 ^o ,84

On voit que l'épuisement est à peu près le même dans les deux colonnes; s'il y a moins de régularité en pratique, on conçoit que cela tienne aux fausses voies que se fraie le liquide à travers la pulpe : aussi l'accroissement extraordinaire de richesse au passage du cinquième au sixième cuvier tient-il à ce que dans le sixième cuvier on avait l'habitude d'opérer un touillage.

De ce qui précède on peut conclure :

1^o Qu'il est possible, à l'aide de la macération, d'épuiser la pulpe jusqu'à un degré déterminé par le nombre des cuviers, ainsi que l'a dit M. de Dombasle;

2^o Que l'épuisement en fonction du nombre des cuviers est exprimé par $\frac{N}{N+1}$ (N représentant le nombre des cuviers opérants);

3^o Que l'accroissement de richesse dans le passage d'un cuvier au suivant est constant et égal à $\frac{1}{N+1}$;

4^o Enfin que le volume d'eau contenu dans le liquide sortant peut être rendu aussi faible que par le procédé de macération à chaud, et par conséquent que le reproche fait par M. de Dombasle à la macération à froid en ce sens n'est pas fondé.

Nous avons pris pour exemple le procédé de macération que nous avons sous les yeux. Supposons que le volume d'eau injecté, le volume de liquide qui passe d'un cuvier à l'autre, ou celui qu'on

soutire, soit inégal au volume de jus contenu dans une charge de pulpe.

Pour traiter généralement la question, soit $\frac{1}{k}$ le volume d'eau injecté exprimé en fonction du jus normal, ce sera le volume qui passe de cuvier en cuvier à chaque virement. On trouve alors, pour t ,

$$t = \frac{k^n - 1}{k(k^n + k - 2)}.$$

Preuons deux exemples. Soit $\frac{1}{k} = \frac{1}{2}$ ou la moitié en eau du jus normal contenu dans une charge de pulpes neuves. On trouve, d'après la formule, pour 7 lixiviations, la richesse $t = 0,49$ du volume soutiré multiplié par $\frac{1}{2}$; on abandonne dans la pulpe $1 - 0,49$ ou $0,51$ de jus. Il était évident qu'une trop faible proportion d'eau donnerait un épuisement trop faible. Supposons $\frac{1}{k} = 2$, c'est-à-dire le volume d'eau double du volume du jus normal contenu dans une charge, $\frac{1}{k} = \frac{4}{2}$; on a encore $0,49$ du volume soutiré multiplié par 2 , ou $0,98$ du jus normal. Il est évident que l'épuisement doit varier avec les volumes d'eau employés relativement aux volumes de jus, et que l'épuisement doit être d'autant plus complet que le rapport entre d'eau et de jus est lui-même plus grand.

Nous n'avons pas eu occasion de vérifier en pratique cette formule, puisque ce moyen n'était employé nulle part; cependant on peut la considérer comme exacte, puisqu'elle n'est que la généralisation de la première, qui a été vérifiée.

Les observations précédentes m'ont suggéré l'idée de résoudre le problème, qui intéresse au plus haut point les fabricants, c'est-à-dire d'extraire à un centième près le jus contenu dans la betterave.

Trois moyens semblaient s'offrir d'abord :

- 1° En augmentant le nombre des cuvieres de macération ;
- 2° En augmentant le volume d'eau sans augmenter le nombre des cuvieres ;

3° En augmentant à la fois le volume d'eau et le nombre des cuiviers.

La formule $t = \frac{N}{N+1}$, applicable dans le cas où les volumes d'eau et de jus resteraient égaux, indique, pour arriver au résultat demandé, une série de 60 cuiviers, ce qui est impraticable.

Le second moyen donnerait un jus si faible que la quantité d'eau à évaporer accroîtrait la dépense bien au delà du bénéfice résultant d'un épuisement plus complet.

Enfin le troisième moyen, tout en nécessitant un travail considérable, ne donnerait encore qu'un jus pauvre.

Il semble donc qu'il n'y ait rien à changer au procédé, puisqu'il n'y a rien à gagner. Ceci est vrai tant qu'on opère avec des racines vertes; mais, si l'on emploie les racines desséchées ayant perdu 0,82 de leur eau, la densité du sirop qu'elles contiennent alors (si le jus d'expression marquait 7° B°) sera 1,324 environ, correspondant à 36° B°. Pour traiter ces racines, il faut absolument employer un volume d'eau plus considérable que le volume de jus qu'elles contiennent, et alors il est possible, sans même augmenter le nombre des cuiviers, d'obtenir un sirop qui ne soit pas d'une trop faible densité.

Le problème, pour être résolu, n'a plus besoin que de la détermination de la quantité d'eau à employer pour obtenir l'approximation donnée.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de traiter à la fois 20 kil. de tranches de betteraves desséchées; ces 20 kil., représentant à peu près 100 kil. de tranches vertes, contiennent 0,04 de ligneux et de matières étrangères insolubles; il n'y a donc que 16 kil. de jus à 36° B°, ou 12 lit. 0,86. Si, pour ce volume, j'emploie 100 litres d'eau et cinq cuiviers, la formule donnant la richesse pour des volumes inégaux de jus et d'eau employés devient, pour le cinquième cuvier,

$$\frac{(8,3564)^5 - 1}{(8,3564)[(8,3564)^5 + 8,3564 - 2]} = 0,11943;$$

Et pour le sixième,

$$\frac{(8,3564)^6 - 1}{8,3564[(8,3564)^6 + 8,3564 - 2]} = 0,11968.$$

Ce qui signifie que, dans le volume soutiré, il y a en jus normal 0,11943 du volume d'eau employé à chaque virement; or ce volume d'eau est 8,3564, si nous considérons le volume total du jus normal égal à l'unité : l'épuisement est donc indiqué en prenant les 0,11943 de 8,3564, ce qui donne 0,9980, c'est-à-dire que tout le jus est obtenu à 0,002 près. Avec six cuiviers, l'épuisement est 0,999926, c'est-à-dire à 0,00008 près, exactitude que l'on ne peut attendre que de l'analyse. Le problème est donc complètement résolu.

En comparant ce procédé avec les procédés ordinaires, on voit que, si l'on emploie six cuiviers, la formule $t = \frac{N}{N+1}$, qui donne pour richesse 0,857, c'est-à-dire que, si 100 kil. de pulpe contiennent 96 kil. à 7° 1/2, on aura $0,857 \times 96 = 82^{\text{kil.}}17$ à 7° 1/2, on obtiendra par ce procédé de la même quantité de betteraves $0,998 \times 96 = 95,71$, ou 13^{lit.}}54 p. 100 de plus.

Voyons maintenant quelle doit être la densité du jus obtenu. La quantité de betteraves employées contenait 12 lit. 08 de jus à 36°; maintenant ces 12 lit. 08 sont obtenus mélangés avec une partie de l'eau qui a servi à les séparer des matières étrangères : par conséquent, le volume soutiré étant plus grand, la densité du mélange sera diminuée. D'ailleurs, les tranches sortant de l'appareil pèsent à peu près quatre fois autant qu'elles pesaient à leur entrée, et ne contiennent plus de liqueur sucrée; elles ont absorbé 66 kil. d'eau : le volume soutiré sera donc 34 kil. de jus, environ le tiers du volume d'injection. La densité est donc

$$A = \frac{Dv + \delta V'}{v + V'} = 1,117 \text{ correspondant à } 15^\circ \text{ B.}$$

OBSERVATIONS.

Afin de savoir si quelque obstacle ne s'opposait pas à l'emploi de ce moyen, je fis plusieurs expériences. Je m'appliquai à reconnaître le caractère du liquide obtenu : traité par 0,003 de chaux, ce liquide donne un précipité jaune soufre cailleboté, qui se dépose rapidement aussitôt que l'ébullition cesse ; le liquide, parfaitement clair et sans écume, se recouvre de la pellicule connue des fabricants. Soutiré avant la filtration, le liquide déféqué est beaucoup moins foncé que celui qu'on obtient par les procédés ordinaires. Abandonné quatre jours, et traité le cinquième, il se comporta bien à l'évaporation ainsi qu'à la cuite, et donna de sucre de premier jet 0,60 du sirop cuit. Enfin de 100 kil. de racines vertes j'ai obtenu 1 kil. 24 de plus que par le procédé Dombasle.

La plus grande difficulté de ce procédé consiste dans la dessiccation, ou pour mieux dire dans la célérité de la dessiccation. Pour arriver à ce but, il faut diviser les racines le plus possible, et cependant éviter que, mises au séchoir, les cossettes, en formant masse, ne laissent s'échapper facilement la vapeur à mesure qu'elle se forme. Il est impossible de bien dessécher des tranches, parceque leurs surfaces se collent, et il se forme des masses inégalement desséchées ; les racines divisées en petits prismes réussissent beaucoup mieux. On obtient la plus grande surface en contact avec l'air chaud et le moins d'agglomération. Il faut que l'opération se fasse à la température la plus élevée possible, sans nuire à la racine. Je me suis convaincu qu'à 60° l'opération marche bien, pourvu que la vapeur puisse se dégager facilement : car sans cela la cossette s'amollit et noircit, d'autant plus qu'elle reste plus long-temps en contact avec cette vapeur ; c'est qu'alors le tissu cellulaire laisse écouler du jus, qui s'altère promptement à cette température. La preuve que l'altération provient de cette cause, c'est qu'on voit à la surface des cossettes des globules d'une couleur brune et gluantes se former. On pourrait

dessécher à une plus haute température en expulsant la vapeur à mesure qu'elle se forme à l'aide d'un courant d'air forcé; cependant à 75° le tissu est légèrement grillé, et la cossette, au lieu d'être blanche, est jaune plus ou moins foncé. Il vaut mieux opérer à 60° et donner au séchoir de plus grandes dimensions que d'opérer à 70°. La célérité sera la même, parcequ'on pourra diminuer l'épaisseur de la couche à dessécher, et la cossette, n'ayant subi aucune altération, donnera du sirop de meilleure qualité. Enfin la célérité de l'opération dépend encore de la température à laquelle on abandonne l'air chaud : plus la température de l'air sortant est élevée, plus la dessiccation s'opère avec rapidité. La dépense en combustible est un peu augmentée il est vrai; mais, à moins que le combustible ne soit à très haut prix, généralement il sera avantageux d'opérer rapidement la dessiccation. Pour obtenir régulièrement l'air chaud à la même température, j'avais construit un calorifère et un ventilateur pour enlever l'air chargé de vapeur. J'avais des cossettes bien blanches, se conservant très bien dans un lieu sec; après une année, celles que j'avais mises dans un grenier traversé par plusieurs tuyaux de cheminées étaient encore friables comme au sortir du séchoir.

Plusieurs fabricants m'ont fait alors l'objection suivante : pour dessécher les betteraves, il faut évaporer l'eau qu'elles contiennent; et, pour les travailler, il faut ajouter une assez grande quantité d'eau, qu'il faut encore évaporer. Il y a donc double évaporation, et par conséquent augmentation de dépense en combustible. Afin de savoir si cette objection mérite l'importance qu'on lui attache, il suffit de calculer, pour un poids de racines vertes amené à l'état de sirop à certain degré et pour la même quantité de sirop au même degré obtenu des cossettes, la dépense en combustible.

Prenons donc 100 kil. de betteraves vertes, pour les transformer en sirop à 12° (densité à laquelle se trouve le jus au sortir de la macération de ses cossettes, parceque j'employais un peu plus d'eau que le volume absolument nécessaire à l'épuisement). Il a fallu, pour

dessécher, dépenser en combustible $76 \frac{650}{0,50 \times 200} = 49$ k. de bois de sapin, seul combustible à ma portée, avec un foyer n'utilisant que 0,50 de la chaleur développée. Le liquide après la défécation marquait 12° B°. Avec les betteraves vertes macérées et moins épuisées, le liquide après la défécation ne marquait que 6°; les jus étaient en volume 93 lit. à 6° et 54,40 à 12°. Or, pour concentrer 93 lit. à 6° jusqu'à 12°, la dépense en combustible est

$$39,30 \frac{650}{0,50 \times 2000} = 25 \text{ kil. de bois.}$$

Il faut encore pour les racines vertes élever 100 lit. de jus à l'ébullition et 54,40 seulement de jus des cossettes, soit 10 kil. pour le premier et 5,92 pour le second; en somme, la dépense avec les cossettes est 55 k., et 36 pour les racines vertes.

L'excès de dépense en combustible est donc 19 kil. de bois, qui valaient dans les circonstances où j'étais placé, 5 à 6 centimes: tel est donc le prix de revient des avantages que procure la dessiccation par 100 kil. de racines vertes. Quel fabricant n'augmenterait de cette somme la dépense de la conservation des racines pour n'avoir à craindre aucune altération? Reste donc l'avantage de pouvoir continuer le travail toute l'année, par conséquent de doubler sa fabrication sans augmentation de matériel.

D'ailleurs, ne serait-il pas possible d'employer à la dessiccation la chaleur perdue des fours à brûler les os et à révivifier le noir animal, qui n'utilisent pas 0,25 du combustible dépensé. Alors il n'y aurait même pas d'augmentation de dépenses en combustible, et, l'objection qui fait reculer bien des fabricants n'ayant plus d'objet, l'adoption de ce procédé se propagerait sans doute rapidement.

L'année dernière, en revenant de Russie, j'ai pu visiter les principales fabriques du nord de la France. Dans les environs de Valenciennes, trois usines marchaient avec la cossette et donnaient de bons résultats, surtout celles de Marly et de Saultain. La macération s'o-

père dans l'appareil de M. Duquesne, très ingénieux perfectionnement du lavage par bande. Cet appareil se compose de chaudières fermées communiquant les unes avec les autres à l'aide de tuyaux, par lesquels, avec une légère augmentation de pression, le liquide passe d'une chaudière dans une autre sans être exposé, comme dans le lavage, à l'air extérieur, qui altère si profondément le jus qu'avec le lavage et la macération Davidoff, ce jus est violet foncé, comme de l'encre, et glaireux si la température s'élève un peu au dessus de zéro. La seule objection qu'il y ait à faire à cet appareil c'est le trop grand nombre de chaudières employées; ce nombre n'est pas nécessaire pour l'épuisement complet de la cossette, il nécessite un laps de temps trop long entre l'entrée des cossettes en macération et l'obtention du jus; aussi faut-il recourir à la chaux en excès pour empêcher jusqu'à un certain point l'altération de ce jus. Je crois que six chaudières, et au besoin une défécation à part, donneraient un jus supérieur en qualité, sans diminuer l'épuisement.

Le séchoir de M. Duquesne est beaucoup plus économique que celui que j'avais construit; mais il faut pouvoir employer un charbon très maigre, qui ne se rencontre pas partout. Les racines tranchées sont exposées directement au dessus du charbon; l'air, passant sur le charbon incandescent, traverse la couche de cossettes et la dessèche: on conçoit qu'il faut un charbon brûlant sans fumée. Dans le séchoir, on sent une odeur très prononcée d'acide sulfureux provenant du charbon; cet acide produit, je crois, un très bon effet, en ce qu'il préserve la cossette de la fermentation et contribue par conséquent à sa bonne conservation après l'emmagasinage, par la petite quantité de cet acide qu'elle a absorbée

COUP D'OEIL SUR L'INDUSTRIE SUCRIÈRE EN RUSSIE.

La fabrication du sucre de betteraves est, en Russie, une des plus grandes industries du pays; c'est celle surtout qui est le plus avancée. On doit attribuer les progrès de cette branche industrielle, beau-

coup plus rapides que dans toutes les autres branches, 1° à la mode : cela peut surprendre, mais je suis certain que les personnes qui connaissent le caractère de la nation russe seront de mon avis ; les propriétaires les plus riches, l'aristocratie, enfin ceux qui fréquentent les pays étrangers, ayant commencé à introduire dans leurs biens des fabriques de sucre, il fut de bon ton de parler de sa fabrique, comme on parlait de ses chevaux, de ses chiens ; 2° à ce que beaucoup d'étrangers, attirés par les princes russes, qui, à peu d'exceptions près, promettent beaucoup et tiennent généralement peu, cherchèrent du travail chez d'autres que ceux qui les avaient engagés, et les poussèrent à établir des fabriques de sucre. Ce genre d'établissement séduisait facilement le propriétaire, ayant la terre et les bras à lui ; d'ailleurs, on a écrit et répété si souvent que, la première année d'exploitation, on pouvait rentrer dans la mise de fonds, que beaucoup de propriétaires grevèrent leurs biens de dettes, afin de faire les frais d'établissement. Le plus souvent il n'avait pas été question des mauvaises récoltes, des maladies des betteraves, de l'augmentation des salaires résultant de l'agglomération des fabriques, là où le sol était favorable à la culture ; de l'incapacité des chefs d'établissement, le premier étranger venu se disant capable de diriger une usine ; de la discorde qui survient généralement dans l'administration entre gens de nations différentes ; du mauvais vouloir des paysans, pour lesquels il résultait un surcroît de travail, etc., etc. ; aussi bien des personnes ont-elles été ruinées par cette industrie, sur laquelle elles comptaient pour augmenter facilement leur fortune. Il faut l'avouer, bien des étrangers ont contribué à cet échec, qui a diminué la confiance que l'on avait généralement en leur capacité et en leur loyauté. 3° Les progrès faits en France et en Allemagne, le perfectionnement des appareils, mais aussi l'augmentation des frais d'établissement, nécessaire pour obtenir un meilleur rendement, tuèrent les petites fabriques, généralement médiocres. Il ne resta donc plus que de belles fabriques, travaillant bien, dans lesquelles rien n'a été ménagé ; il y a même du luxe. car certaines ressemblent à des

palais; tout y est vaste, souvent même élégant, parcequ'elles appartiennent à de riches propriétaires, comptant peu quand il s'agit de leur vanité. Il n'y a plus guère que les gouvernements de Karkow, de Pultava, où quelques fabriques arriérées existent encore; partout ailleurs, et surtout dans les gouvernements de Kieff, où se trouvent les fabriques du comte A. de Bobrinski, de M. Jacknoff, du comte Potocki, du prince Lapoukin; dans le gouvernement de Toula, dans l'ancien royaume de Pologne, les fabriques sont plus belles et souvent mieux montées qu'en tout autre pays, où les usines sont des exploitations, et non des objets de luxe. 4° Enfin, l'industrie étant un motif plausible de voyage à l'étranger, on obtient comme fabricant des passeports qu'il serait difficile d'obtenir sans raison. Dans ces voyages, chacun se croit obligé de rapporter quelque chose de nouveau; aussi chaque perfectionnement fait à l'étranger, même avant qu'il soit sanctionné par l'expérience, est importé; d'où toujours des écoles, des remaniements de fabriques, des pertes, quelquefois considérables. Le comte A. de Bobrinski, aidé de M. Dupan, est certainement, par ses efforts constants, par ses sacrifices, celui qui a le plus contribué au développement de cette industrie; c'est chez lui, à Mikaëlowski, que se formèrent presque tous les bons directeurs qui sont aujourd'hui à la tête des premières fabriques; c'est à Mikaëlowski que se trouve le noyau des fabriques qui se sont élevées dans le gouvernement de Toula, comme Smela fut plus tard le centre des fabriques qui ont envahi le gouvernement de Kieff et ses environs.

La plupart des belles fabriques ont été montées par la maison Cail et compagnie de Paris, et par Bermann de Berlin; elles sont toutes munies d'appareils d'Howard perfectionnés, de turbines pour remplacer l'égouttage; quelques unes même ont des grandes turbines à pains de M. Van Goethem de Bruxelles. Ces grandes turbines ne fonctionnaient pas encore bien à mon départ. Le manque de succès ne dépend pas de la machine, je dois le dire, car je l'ai vu très bien fonctionner chez M. Claes, près Bruxelles, et chez M. Boquet,

en France. A la vérité, à Limbeck, les pains sont beaucoup plus petits que ceux que le commerce exige en Russie, et surtout plus poreux. Le sucre poreux sera toujours repoussé par la classe des consommateurs qui a l'habitude de prendre le thé, principale boisson du pays, en cassant avec les dents une parcelle de sucre et ingurgitant une tasse de liquide par dessus. M. Bobrinski, dans sa raffinerie de Smela, où l'on travaille par jour 4000 pains de 8 à 10 kil., et où l'on ne reste en arrière d'aucun perfectionnement, a fait l'essai de cette turbine, et, s'il ne l'a pas adoptée, c'est qu'il aurait fallu changer un matériel considérable et que la compacité de son sucre empêche la purgation complète de la pointe; s'il était possible de supprimer cette pointe, l'emploi de cette machine procurerait un avantage réel; mais le commerce a ses caprices, et des pains tronqués perdraient en Russie de leur valeur. Une raffinerie qui se monte ou une fabrique qui raffine doivent surtout profiter de ce perfectionnement, qui diminue de beaucoup le matériel, qui restreint l'espace nécessaire au travail ordinaire et facilite la prompte livraison des produits.

L'impôt sur le sucre se perçoit en Russie d'une manière bien simple, et est moins onéreux pour le fabricant qu'il ne l'est en France. Un inspecteur général choisit dans chaque district un propriétaire, qu'il charge, pour son district, de surveiller si les règlements sont observés. Avant le commencement de la fabrication, cet inspecteur met le sceau du gouvernement sur les presses et les râpes, dans toutes les fabriques dont la surveillance lui est confiée. Lorsqu'un fabricant veut mettre en marche son usine, il prévient l'inspecteur, qui vient lever les scellés le jour indiqué pour la mise en train; à partir de ce moment l'impôt commence à courir. A la fin de la fabrication, l'inspecteur, également prévenu, vient mettre les scellés, et l'impôt cesse dès ce jour. Si pour un motif quelconque la fabrication est suspendue, l'inspecteur doit être prévenu si l'on ne veut payer l'impôt pendant le chômage. Ainsi l'impôt est indépendant du rendement. On payait en 1853 3 R. argent par presses, et par 24 heu-

res , soit 12 fr. pour des pistons de 22 pouces ; un peu plus à mesure que le diamètre du piston était plus grand. Une batterie de huit cuves de macération de 1,20 environ était comptée pour une presse.

Le prix des betteraves est de 3 fr. 50 à 4 fr. le berkowitz de 160 à 200 kil. ; les ouvriers sont payés de 15 à 20 fr. par mois , les femmes de 10 à 16 fr. Pour les sarclages, le prix de la journée varie , suivant la facilité de se procurer des bras , de 60 à 75 centimes.

Bien que le prix des racines et celui de la main-d'œuvre ne soient pas élevés , que l'impôt soit modéré , que le jus soit riche , puisqu'il marque 10° B. , et quelquefois plus , le prix du sucre est plus élevé qu'en France. La cassonnade blanche se paie de 20 à 25 fr. le pud de 16 kil. , et le raffiné moyennant 40 fr. Aussi demande-t-on toujours en Russie comment à l'étranger on peut fabriquer le sucre à si bas prix.

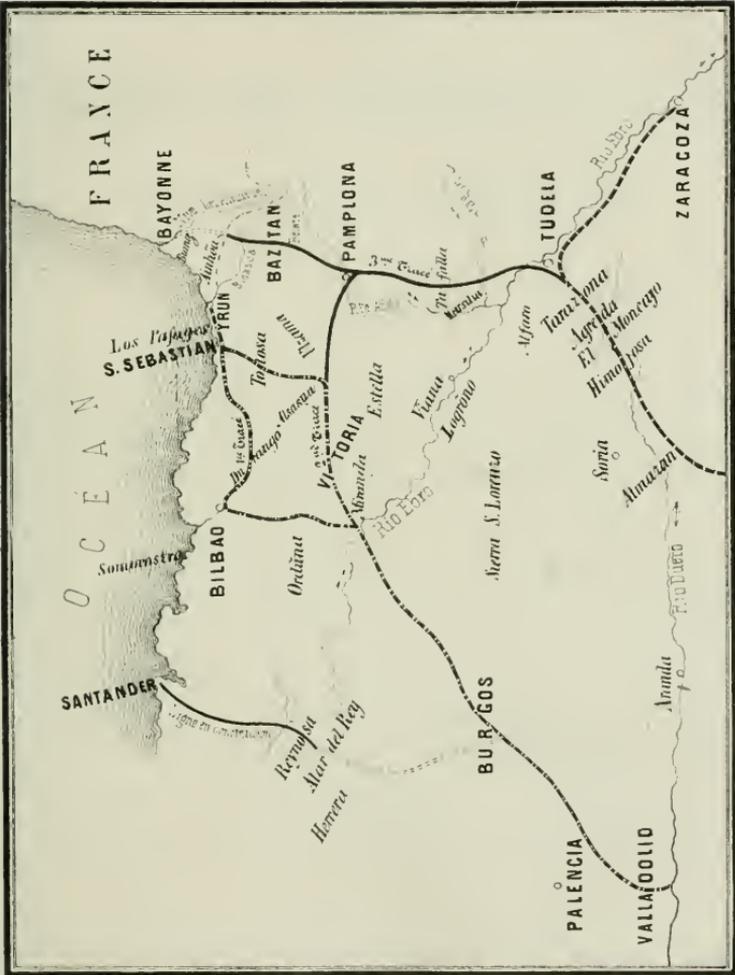
Cette différence provient de ce qu'en Russie la culture , moins bien entendue , donne moins , quantité de terreensemencée égale ; les gelées de printemps , qui détruisent deux et trois fois les jeunes betteraves , font qu'on sème le double de ce qu'on espère récolter. Le personnel des administrations est trop considérable ; les directeurs et contre-mâtres , étrangers le plus souvent , ont des appointements plus que doubles de ceux qu'on donne en France à ces agents , ce qui élève énormément le prix de revient du produit.

D'ailleurs la difficulté de faire faire les réparations pressantes nécessite , comme annexe à toute fabrique de sucre , des ateliers où l'on puisse fondre , forger , tourner le fer , la fonte et le cuivre ; des menuisiers , maçons , charpentiers , tonneliers , etc. , attachés à l'établissement. Chacun de ces corps de métiers est dirigé par un contre-mâtre étranger , parcequ'il n'existe pas d'ouvriers indigènes. Dans certains établissements , ces contre-mâtres , les surveillants des machines à vapeur , sont payés jusqu'à 4000 fr. , et le directeur de 8000 à 10,000.

Outre ces agents , il y a un sous-directeur , un caissier , un chef

de comptabilité, plus une foule d'employés au bureau, des inspecteurs et des surveillants, autant que d'ouvriers.

L'excès des employés est un défaut qui existe partout en Russie ; peu payés, d'ailleurs, ils se font un surcroît d'appointements par tous les moyens. Enfin, si l'on joint à ces causes de dépenses la difficulté des transports, à cause du mauvais état des routes, et des distances à parcourir, la gêne des propriétaires, qui n'ont de marché qu'une fois l'an et sont obligés d'emprunter à 12, 15 et 20 pour cent, on aura, je crois, la raison de la différence du prix des sucres en Russie et à l'étranger.



13.000 5.74

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

MARCA

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(Octobre, Novembre et Décembre 1854)

N° 27

Pendant ce trimestre, la Société a traité les questions suivantes :

1° Puissance comparative de vaporisation entre les générateurs à bouilleurs avec foyer en maçonnerie et les générateurs tubulaires à foyer intérieur (Voir le résumé des séances, page 137) ;

2° Examen des principaux systèmes de ponts métalliques au point de vue des avantages respectifs qu'ils présentent (Voir le résumé des séances, pages 139 à 168, 179 à 181, 186 à 189, et 194 à 200) ;

3° Construction du pont en fonte et fer établi sur la Harper aux Etats-Unis d'Amérique (Voir le résumé des séances, page 174) ;

4° Etablissement du chemin de fer aux Etats-Unis d'Amérique (Voir le résumé des séances, pages 185, 193, 201 à 203) ;

5° Chute du pont construit sur la Saône pour la traversée du chemin de fer dans le faubourg de Vaise à Lyon (Voir le résumé des séances, page 201) ;

6° Etablissement de la voie du chemin de fer d'Auteuil (système Brunel) (Voir le résumé des séances, page 203) ;

7° Emploi des fers à T dans la construction des ouvrages d'art et de bâtiment (Voir le résumé des séances, page 203) ;

8° Exposé de la situation financière de la Société (Voir le résumé des séances, page 209);

9° Élection des membres du bureau et du comité pour l'année 1855 (Voir le résumé des séances, page 210);

Dans la séance du 15 décembre, la Société a procédé aux élections des membres du bureau et du comité pour l'année 1855. Le résultat du scrutin a donné la composition suivante :

Président :

M. MONY (Stéphane) ✳, boulevard des Italiens, 26.

Vice-Présidents :

MM. PETIET (J.) O ✳✳✳, rue Lafayette, 34.

FLACHAT (Eugène) ✳✳, rue de Londres, 51.

CALLON (Charles), rue Royale-Saint-Antoine, 16.

FAURE, boulevard Saint-Martin, 55.

Secrétaires :

YVERT (Léon), rue Saint-Lazare, 82.

FÈVRE (L.), rue de la Chaussée-des-Minimes, 5.

GOSCHLER, boulevard Saint-Martin, 17.

CAILLÉ, rue Saint-Lazare, 82.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.), rue Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. DEGOUSÉE, rue Chabrol, 35.

NOZO (Alfred) ✳, place du Château-Rouge, 2, à Montmartre.

HOUEL ✳, quai de Billy, 48.

THOMAS (Léonce) ✳, rue des Beaux-Arts, 2.

ALCAN (M.), rue d'Aumale, 21.

SALVETAT, à Sèvres (Manufacture impériale).

BERGERON, rue de Lille, 79.

- VIIGNER (Emile) O ✱, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
FORQUENOT, boulevard de l'Hôpital, 7.
PÉPIN-LEHALLEUR ✱, rue de la Victoire, 14.
SÉGUIN (Paul), rue Louis-le-Grand, 3.
YVON-VILLARCEAU, à l'Observatoire.
POLONCEAU (C.) ✱, place Royale, 19.
CHOBZINSKY ✱, rue du Nord, 11.
LOVE, rue de Berlin, 30.
BOIS (Victor), place du Havre, 14.
GRENIER, rue des Vinaigriers, 33.
NEPVEU, rue de la Victoire, 43.
LA SALLE, rue Saint-Georges, 58.
LEMOINNE ✱, rue d'Amsterdam, 21.

Président honoraire :

M. A. PERDONNET ✱, au chemin de fer de Strasbourg.

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Ebray, membre de la Société, une note sur les banes pourris des carrières.

2° De MM. Molinos et de Dion, membres de la Société, un mémoire sur le choix à faire des divers systèmes de ponts en tôles ;

3° De M. Nozo, membre de la Société, une note sur la puissance de vaporisation des générateurs à bouilleurs avec foyers en maçonnerie et des générateurs tubulaires avec foyers intérieurs.

4° De M. Lanet de Limency, le dessin d'un nouveau système de rails.

5° De M. La Salle, membre de la Société, deux exemplaires du compte-rendu des séances de l'Académie des sciences.

6° De M. Mathieu, membre de la Société, une collection des cahiers des charges et soumissions du chemin de fer du Midi.

7° De M. Grenier, membre de la Société, une note sur le pont en fer et fonte établi sur la Harper pour le passage du chemin de fer de Baltimore à Ohio (Etats-Unis d'Amérique).

8° De la Société de Mulhouse, un exemplaire de son bulletin;

9° De la Société d'encouragement, un exemplaire de son bulletin;

10° De M. Guillaume (Charles), membre de la Société, une note sur la surveillance et l'entretien des voies dans la deuxième section du chemin de fer de Tours à Nantes.

11° De M. Grenier, membre de la Société, une note sur les chemins de fer américains.

12° De M. Le Roy, membre de la Société, une note sur le viaduc de Saltash, en construction près du port de Plymouth.

13° De M. Jouselin, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur la conservation des bois, publié par le journal *l'Ingénieur*.

14° De M. Lecler, membre de la Société, une note sur la voie du chemin de fer d'Auteuil (voie Brunel).

Du même, une note sur les calculs relatifs à l'établissement des croisements et changements de voie.

15° De M. Ebray, membre de la Société, une note sur l'emploi des fers dans la construction des ponts.

Les membres nouvellement admis sont les suivants, savoir :

Au mois de novembre :

MM. BLUTEL, présenté par MM. Vuigner, Grenier et Perdonnet.

MARTIN, présenté par MM. Vuigner, Grenier et Perdonnet.

LANGLOIS, présenté par MM. Huet, Geyler et Germain.

BARRAULT, présenté par MM. Barrault, Houel et Armengaud.

DOMBROWSKY, présenté par MM. Vuigner, Grenier et Perdonnet.

BORGELLA, présenté par MM. Vuigner, Faure et Perdonnet.

Note sur l'Expérimentateur phroso-dynamique des fils,

PAR M. ALCAN.

L'industrie de la filature consiste tantôt dans la réunion d'un plus ou moins grand nombre de fibres d'une longueur variable de 20 à 30 centimètres environ, pour en former un fil continu d'un développement indéterminé : c'est le cas des fils de coton, des laines, du chanvre, du lin, etc.; tantôt dans la réunion des brins élémentaires, offrant de 6 à 1,200 mètres, comme dans la soie.

Dans le premier cas, les filaments, parfaitement épurés et redressés, sont échelonnés par juxtaposition, au moyen de glissements successifs opérés par les étirages. Ces fibres, progressivement réunies, n'adhèrent entre elles, dans le fil formé, que par la torsion qui leur est imprimée au métier à filer. Sans elle, le moindre effort les ferait glisser les unes sur les autres, et aurait pour conséquence des solutions de continuité. Dans la soie qui doit être teinte et décreusée, il y aurait également désagrégation des fils élémentaires, dont un certain nombre constitue la grège, si on ne les tordait au préalable. La torsion joue, dans la filature comme dans l'art de la corderie, un rôle fondamental et important au point de vue de la constitution même du produit; elle a, de plus, dans le travail des matières textiles, une influence sur l'apparence de l'étoffe. La différence d'aspect entre un satin et un marabout, par exemple, provient non seulement des modes d'entrelacement par lesquels ces tissus ont été obtenus, mais aussi d'une différence très sensible dans la torsion des fils qui les composent.

Pour le fond comme pour la forme, si la torsion est insuffisante, les effets cherchés ne sont pas atteints; si elle est trop grande, il en résultera un amoindrissement d'élasticité et de ténacité, et, par conséquent, une certaine dépense de travail nuisible.

Déterminer dans chaque cas particulier le nombre de révolutions à imprimer par unité de longueur, ou, en d'autres termes, fixer l'angle de torsion le plus convenable dans chaque circonstance spéciale, présente donc un grand intérêt. On admet généralement que la torsion doit varier en raison inverse de la longueur des fibres, et comme les racines carrées des numéros ou finesses des fils. En supposant à ces règles l'exactitude absolue qu'on ne peut leur accorder que jusqu'à ce que l'on en ait à l'abri de toute objection, leur application à chaque espèce de fil doit s'appuyer sur des points de départ ou des *torsions types* déterminées d'une manière mathématique. Les moyens pour fixer ces types ont manqué jusqu'à présent; c'est pour combler cette lacune que l'*Expérimentateur phroso-dynamique* a été imaginé par M. Alcan. Il a, par conséquent, pour but, des fibres étant données, de les tordre sur des longueurs et à des degrés variables, et d'enregistrer l'élasticité et la ténacité correspondantes à chaque angle de torsion, ou bien encore, des fils de différentes natures et finesses étant donnés, de déterminer leur torsion, leur élasticité et leur ténacité. L'instrument peut opérer sur des longueurs variables de 0^m.01 à 1 mètre et plus, si on le désire. Non seulement, par conséquent, il se prête à tous les cas pratiques pour l'essai des fils, mais le même système, exécuté assez solidement, sur les dimensions voulues, peut servir à l'essai de toute espèce de cordes et cordages plats.

Sa disposition permet, en effet, d'agir à volonté, soit comme un sérimètre ordinaire, indiquant l'élasticité et la ténacité d'un fil non tordu, avec cette différence que, dans les instruments connus, on ne peut opérer que sur une longueur invariable donnée, et l'aiguille oscille très sensiblement lors de la rupture. Grâce à l'adoption de l'assemblage de l'aiguille, imaginé par M. Perreaux dans son dynamomètre à essayer le tissu, l'aiguille reste fixe lors de la rupture, et les observations ne présentent pas la moindre difficulté dans l'instrument de M. Alcan, qui peut également être employé comme compteur d'ouvraison, pour déterminer seulement le nombre de tours sur une longueur donnée de fils.

En résumé, l'Expérimentateur des fils peut servir à volonté 1° comme sérimètre à longueur variable, pour déterminer l'élasticité et la ténacité des fils, sans la moindre chance d'erreur; 2° comme compteur de torsion; 3° pour déterminer le nombre de tours le plus favorable par unité de longueur, ou, en d'autres termes, l'angle de torsion le plus convenable dans tous les cas désirables. La description suivante de l'appareil va suppléer à ce que la note succincte a pu laisser désirer au point de vue des détails de l'instrument.

D'un côté on voit (fig. 1, 2 et 3, planche 36) l'appareil dynamométrique proprement dit, avec son cadran, son aiguille et son crochet d'attache, agissant sur un poids dont l'action pour de petites forces est plus sûre que celle d'un ressort; — de l'autre, le compteur d'ouvraison, ou axe tordeur destiné à recevoir l'autre extrémité du fil. Les transmissions de mouvements entre cet axe et les aiguilles, établies sur un cadran vertical *R*, ont pour but d'enregistrer le nombre de tours par les moyens usités dans tous les compteurs analogues.

Chacune des deux parties de l'instrument, le dynamomètre et le compteur, peut être fixe ou mobile à volonté. L'appareil dynamométrique, monté sur des galets, avancera ou reculera lorsque la vis *V* sera desserrée, et le maintiendra en place lorsqu'elle sera serrée. Le mouvement ou le repos est obtenu, d'une manière analogue, dans le compteur de torsion, en serrant ou desserrant un écrou par la vis *z*. Lorsque la vis est desserrée et qu'on tourne la manivelle *m*, qui porte un pignon *o* engrenant avec une crémaillère fixée au compteur, celui-ci avancera.

On peut ainsi rapprocher les deux crochets ou axes d'attache jusqu'au contact, ou les éloigner de 1 mètre sur une échelle divisée, dont la lecture est facilitée par des indicateurs *i i*. (Afin de rendre l'instrument plus portable, l'échelle est à charnière sur le milieu de sa longueur, pour pouvoir se plier. L'appareil peut de cette façon être contenu dans une boîte de 0^m.50 de longueur.)

Les points d'attache *r r* sont disposés de façon à ce que la traction

ait toujours lieu sur l'axe du fil. Celui-ci est d'abord passé dans l'espèce de pince p , puis dans le crochet recourbé sur lequel elle est placée. Pour opérer plus facilement, on attache d'abord l'extrémité du crochet fixe placé du côté de l'appareil dynamométrique.

Une tige horizontale t porte à l'une de ses extrémités le crochet d'attache r , et un poids P à l'autre. Cette tige avance lorsqu'on agit sur le crochet, et permet au poids de s'incliner, à cause de son assemblage articulé; elle porte une petite vis ou taquet q . Il avance sur une branche b en retour d'équerre d'une crémaillère engrenant avec le pignon horizontal qui transmet le mouvement au pivot vertical ou axe de l'aiguille dynamométrique. Pendant la durée de l'action, ce taquet q agit donc sur l'aiguille, tandis qu'au moment de la rupture du fil l'adhérence cesse entre ces deux parties, et l'aiguille reste immobile; mais, comme la tige revient rapidement, sollicitée par le poids, celui-ci fatiguerait les points avec lesquels il est en contact, si son choc n'était neutralisé au moyen de l'engrènement d'une crémaillère courbe n qu'il porte avec un pignon placé sur l'axe d'un petit volant c . Ce dernier supporte seul l'effet du mouvement rétrograde du poids.

Le compteur d'ouvrison a deux cadrans; chaque division du petit correspond à un tour entier égal à cent révolutions de l'axe. L'inspection de la figure suffit pour démontrer l'agencement des transmissions.

Si l'on veut se servir de l'instrument pour constater seulement la ténacité et l'élasticité, on fixe le dynamomètre de façon à ce que l'indicateur i corresponde au zéro de l'échelle, et on arrête le compteur à une distance réglée sur la longueur du fil à expérimenter; on place les aiguilles des cadrans dynamométriques et du compteur à leurs zéros respectifs, puis on attache ce fil comme il a été dit précédemment. Lorsqu'on en veut faire usage pour compter le nombre de tours de torsion, on rend le mouvement à l'appareil dynamométrique et l'on fixe le compteur; et, comme la conséquence de cette opération est un allongement du fil, on pourrait fixer les deux parties de l'appareil.

Enfin, veut-on se servir de l'appareil pour tordre avant d'essayer la ténacité et l'élasticité, on met l'un des deux chariots en liberté, afin de laisser le raccourcissement s'opérer sans résistance, et on ne le fixe qu'au moment de procéder à l'essai de la résistance et de l'allongement.

La seule précaution à prendre pour se mettre à l'abri de toutes chances d'erreur consiste à ramener les aiguilles aux zéros au commencement de chaque opération. Cette attention suffit pour obtenir avec la plus grande facilité des résultats d'une exactitude mathématique.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
PENDANT L'ANNÉE 1854.

SÉANCE DU 6 JANVIER 1854.

Présidence de M. VUIGNER, président.

M. Petiet, président sortant, occupe le fauteuil. Il résume de la manière suivante les travaux de la Société pendant l'année 1853. Les principales questions qui ont été traitées sont celles :

Du matériel roulant, surtout en ce qui concerne les essieux, les roues, les ressorts et les châssis ;

De la conservation des bois : bien qu'elle ne soit pas encore résolue d'une manière complètement satisfaisante, la Société a pu signaler cependant l'efficacité d'un ou deux procédés ;

De l'équilibre des machines locomotives en mouvement au moyen de contrepoids : cette question sera reprise quand nous aurons les résultats d'expériences comparatives faites aux chemins de Lyon et de Strasbourg ;

De la machine à air chaud d'Ericsson, sur laquelle, malgré le nombre de partisans de ce système et la promesse formelle de calculs et de documents relatifs à cette invention, aucune communication qui puisse guider dans la discussion ne nous a encore été faite ;

De la construction des voies au point de vue spécial des divers systèmes récemment proposés pour en augmenter la stabilité et en diminuer les frais d'entretien ;

Enfin, des améliorations à apporter dans l'exploitation des chemins de fer, qui est la question à l'ordre du jour. La commission nommée par M. le Ministre des travaux publics est entrée en fonction. Le programme des questions posées par elle sera distribué aux membres de la Société, qui pourront alors passer à la discussion de chacune d'elles.

M. PETIET fait observer que, si dans notre Société la discussion est souvent un peu trop exclusivement concentrée sur les chemins de fer, et quoiqu'il faille désirer que nous soyons saisis de questions différentes, cette tendance dépend uniquement des sociétaires. Du reste, on ne s'est occupé que des *questions* de chemins de fer spécialement à l'ordre du jour, et présentant, par cela même, une opportunité du plus haut intérêt.

Passant ensuite à l'examen de la situation financière, il constate que le déficit de l'an dernier a entièrement disparu cette année. L'équilibre qui

s'est produit peut faire espérer pour l'année actuelle un excédant de recettes qui sera consacré à l'amélioration des publications, jusque alors un peu restreintes.

Avant de quitter la présidence, M. J. Petiet engage chacun des membres de la Société à faire tous ses efforts pour augmenter le nombre des sociétaires, pour introduire dans son sein plus de lumières, en même temps qu'une plus grande prospérité matérielle.

Il remercie la Société du mandat qu'elle lui avait confié, et l'assure qu'en rentrant dans ses rangs il assistera d'une manière active à tous ses travaux; il est heureux de remettre le fauteuil de la présidence à un ingénieur qui, parti des premiers degrés, a su, par sa capacité et son intelligence, s'élever aux plus hautes fonctions.

M. E. Vuigner remplace M. Petiet au fauteuil.

Il dit d'abord que les paroles flatteuses de son prédécesseur, et la grande majorité des suffrages qui l'ont appelé à la présidence, lui font apprécier plus que jamais tout le mérite des témoignages de haute considération que la Société a bien voulu lui donner.

Il ajoute que ce mérite est d'autant plus grand pour lui, qu'il se rattache pour ainsi dire à des souvenirs de jeunesse; qu'il est entré définitivement dans la carrière dès 1824; qu'il y avait été devancé par des ingénieurs civils qui, par leurs travaux importants et leurs grandes conceptions, avaient créé la profession; qu'aussi, lorsque 1830 arriva, l'administration supérieure de cette époque, comprenant qu'il fallait une école spéciale pour les ingénieurs civils, comme il y avait une école spéciale pour les ingénieurs du gouvernement, sanctionna l'établissement de l'école centrale.

Il dit que cette école a répondu dignement au but de sa création; qu'il est certain que des améliorations notables ont été apportées par MM. les ingénieurs du gouvernement dans toutes les branches des travaux publics, mais que les ingénieurs civils ne sont pas restés en arrière de ces progrès; qu'en effet, dans la construction des canaux et des chemins de fer, dans la navigation maritime, fluviale, et dans celle des canaux, dans l'exploitation des chemins de fer, dans la construction des moteurs hydrauliques et à vapeur; dans les opérations de distribution d'eau, d'irrigation, de dessèchement et de drainage; dans les forges, dans les filatures et dans les établissements industriels de tous genres enfin, on trouvera des améliorations, des perfectionnements dus à des ingénieurs civils.

Il constate que la formation de la Société constitue définitivement la profession des ingénieurs civils; que, pour la maintenir, il suffit, dès à présent, de se tenir au niveau de la science, et, mieux encore, de la devancer.

Il exprime le regret que son prédécesseur quitte le bureau; il rappelle que toutes les instances possibles ont été faites auprès de lui pour changer sa détermination, mais qu'elles ont été vaines; que cependant, pour son compte personnel, il avait dû insister d'autant moins qu'il compte suivre son exemple, parcequ'il comprend que quitter la présidence pour rentrer dans le comité ou dans le sein même de la Société, c'est établir un roulement nécessaire pour assurer son avenir.

quant qu'il a ambitionné la présidence et l'a obtenu, il n'a plus rien à désirer. Il renouvelle à ses camarades ses remerciements les plus sincères.

L'ordre du jour appelle ensuite la lecture d'un mémoire sur l'exploitation des chemins de fer allemands à une seule voie, par M. Félix Mathias.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Mathias de sa communication. Ce mémoire pourra servir de texte aux discussions qui vont s'ouvrir sur cette question, qui présente le plus puissant intérêt, et est intimement liée à l'avenir des chemins de fer en France, car l'importance relative du trafic, permettant d'établir tout d'abord entre eux une division analogue à celle des routes impériales, départementales et vicinales, implique nécessairement l'exploitation à une ou à deux voies.

UN MEMBRE appelle ensuite l'attention de la Société sur une question d'une grande importance pour la fabrication des aciers français. Il engage les membres de la Société à apporter prochainement les résultats de leur propre expérience sur les qualités relatives des aciers français et des aciers anglais. La question devra être toute d'appréciation technique.

UN MEMBRE lit d'abord une note relative à l'incombustibilité de nouvelles caisses de finances qui, pendant 20 minutes, ont pu résister à l'intensité du rouge blanc d'un four à réverbère, sans que les papiers qu'elles renfermaient eussent été sensiblement altérés; ensuite une autre note relative au redressage des pièces de mécanique après la trempe.

SÉANCE DU 29 JANVIER 1854.

Présidence de M. VUIGNER, président.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la valeur comparative des aciers français et des aciers anglais. D'après des notes recueillies au chemin de fer du Nord, il résulte que, de l'année 1846 au mois d'août 1853, la Compagnie a exclusivement employé les aciers anglais Hautmann pour la confection des burins, barres, ciseaux, etc.; que, depuis le mois d'août 1853, des demandes ont été faites à trois usines françaises, celles de M. James Jackson et fils, MM. Jackson frères et C^e et MM. Breton et Nicolon, représentants de la forge de Val-Benoist, et que jusqu'ici les produits de ces usines ont été jugés (sur de petites quantités, il est vrai) un peu inférieurs aux produits anglais.

UN MEMBRE dit que M. le directeur de la Monnaie, après de très longs essais, a donné la préférence aux aciers français sur les aciers Hautmann. Il dit également que, par son expérience personnelle et par des essais pour-

suivis pendant un an et demi, il a acquis la conviction de la supériorité des aciers Jackson sur les aciers Hautsmann. Il est vrai que ces aciers, de provenance différente, ne se travaillent pas de la même manière.

UN AUTRE MEMBRE exprime la crainte que la réduction des droits à l'importation des aciers fondus ne compromette en France cette fabrication. Il regrette d'autant plus cet abaissement de tarif, que la France peut produire aussi bien que l'Angleterre, et suffire à la consommation du pays.

Jusqu'à ces derniers temps, la différence qui a existé entre la fabrication des aciers anglais et des aciers français provenait de la qualité des matières employées. Réaumur avait posé en principe que les fers français étaient de nature à faire d'excellents aciers ; depuis cette époque, on a suivi ces errements, et les produits fabriqués ont été constamment secondaires ; mais, depuis qu'on a employé pour cette fabrication, comme on le fait en Angleterre, des fers de Suède, on a obtenu en France des résultats satisfaisants. Il n'y a pas de secret dans la fabrication de l'acier fondu ; elle se compose de deux opérations : la cémentation et la fusion, qui, toutes deux, sont très simples et sont partout les mêmes. Cette industrie a été importée en France par des Anglais, avec des ouvriers et des appareils venus d'Angleterre. La matière première (le fer de Suède) étant la même, il n'y a donc pas de raison pour qu'il puisse y avoir de différence dans les produits ; le seul élément que la France ait fourni, le charbon, a été, dès l'origine, puisé aux meilleurs gîtes houillers de notre pays.

L'expérience du chemin de fer du Nord ne peut rien décider d'une manière absolue, puisque les essais comparatifs n'ont pas été faits sur des quantités importantes ; et, en réponse aux documents fournis, il est donné lecture de lettres de nos principaux constructeurs et fabricants, travaillant spécialement l'acier fondu, qui toutes attestent que les aciers fondus de M. Jackson ont toujours donné de bons résultats, et que souvent ils sont trouvés supérieurs aux aciers anglais.

Le travail de l'acier exige, d'ailleurs, des soins spéciaux et minutieux. Pendant long-temps nos ouvriers n'ont pas su façonner nos aciers anglais de meilleure qualité : aussi a-t-on l'habitude de n'envoyer en France que les aciers des qualités les plus douces, c'est-à-dire les plus faciles à souder ou à manipuler. Ce sont ces qualités que l'on a d'abord fabriquées en France, et aujourd'hui que l'habitude de manier l'acier s'est répandue dans tous les ateliers, la fabrication a fait des progrès, et elle tend à devenir en tout semblable à celle de l'Angleterre. A l'avenir, ni du côté du fabricant, ni du côté du consommateur, il n'y aura de différence ; c'est ce que MM. Jackson ont parfaitement compris : aussi ont-ils poussé leur fabrication en conséquence. Leurs produits actuels rivalisent avec les meilleurs aciers anglais.

UN AUTRE MEMBRE exprime le regret que le membre qui vient de présenter l'acier français comme au moins égal à l'acier anglais n'ait pas donné des renseignements sur les causes de la supériorité du fer de Suède comme matière première pour faire l'acier. Il aurait pu dire pourquoi, dans son opinion, les minerais de Suède ne peuvent pas être remplacés par les minerais de l'Ariège et autres, qui produisent en France, soit par le traitement direct, soit par la fonte, du fer aciéreux. En outre, il faut remarquer

que la production de l'acier en Angleterre est incomparablement plus considérable qu'en France. Nous ne possédons, au plus, que quatre ou cinq fabriques d'acier fondu, tandis qu'en Angleterre c'est par centaines qu'il faut les compter.

Il ne faut pas oublier que partout où il y a une production énorme et une concurrence considérable, les moyens de production offrent plus de garantie et de perfection.

D'un autre côté, s'il était prouvé que nos minerais ne pussent pas donner de l'acier, dans quelle mesure y aurait-il nécessité de protéger une industrie qui n'emploie d'autre ressource de notre territoire que le charbon et la main-d'œuvre ?

Cette industrie serait, dès lors, en tout semblable à celles qui fabriquent le fil et les tissus de coton, et ce ne serait plus un droit protecteur sur l'acier qu'il faudrait demander, mais bien au contraire l'entrée en franchise des fers de Suède.

Rien alors n'arrêterait plus l'essor que pourrait prendre la fabrication de l'acier fondu.

La question mérite considération, car il ne faut pas oublier que, dans les travaux mécaniques et les constructions, on fait travailler l'acier à une charge dix fois plus considérable que celle à laquelle on soumet le fer. On pourrait donc en retirer de notables économies.

LE PREMIER MEMBRE répond aux observations précédentes que, jusqu'à présent, personne n'a pu expliquer pourquoi le fer de Suède, mieux que tout autre, fournissait les aciers de qualité supérieure. Les recherches savantes et multipliées de M. Leplay n'ont pu jeter aucun jour sur la question. Un fait qui en dit plus que tous les raisonnements, c'est que, jusqu'ici, toute tentative de fabrication d'acier fondu avec les fers français a donné des produits secondaires, tandis qu'ils ont été immédiatement satisfaisants et supérieurs quand on a employé des fers de Suède.

UN MEMBRE n'admet pas qu'on puisse dire que les fers français sont incapables de donner de bons aciers fondus. Si on n'y est pas encore arrivé, c'est qu'on s'y est mal pris, et il est toujours imprudent, selon lui, d'engager l'avenir.

M. LE PRÉSIDENT fait observer au premier membre que, puisqu'il s'est beaucoup occupé de la question qui est soumise aujourd'hui à la Société, il peut mieux que qui que ce soit donner des renseignements utiles, et qu'il y aurait lieu de rédiger une note contenant, sur ce point, les indications les plus circonstanciées.

LE PREMIER MEMBRE partage cette dernière opinion, et c'est précisément en vue de l'avenir qu'il désirait voir conserver à l'industrie des aciers supérieurs une protection capable de la faire vivre jusqu'au jour où les fers français, qui par leur nature peuvent faire concevoir quelque espérance de succès, parviendraient à être élaborés d'une manière convenable; mais les obstacles à vaincre ne sont pas de ceux qu'on franchit en un jour.

Au surplus, il est un moyen bien simple de s'assurer de l'infériorité actuelle des fers français au point de vue de la fabrication de l'acier; il suffit pour cela de comparer leur valeur avec celle des marques de Suède, dont

la supériorité est la mieux établie. Les fers de Danemora des premières marques valent en Angleterre 85 fr. les 100 kilogrammes. Il est évident que, si les fers de l'Ariège pouvaient concourir, on ne chercherait pas à les écouler en France au prix de 43 fr. Quant à l'introduction en franchise des fers de Suède, une semblable mesure ne lui paraîtrait pas praticable tant qu'on laisserait subsister des droits sur les fers étrangers en général. Ce serait d'ailleurs porter le dernier coup à toutes les espérances qu'on peut fonder sur l'avenir des fers à aciers indigènes.

Il ne peut pas donner de renseignements autres que ceux qu'il a fournis il y a deux ans et ceux qu'il vient d'y joindre.

Son but, en prenant part à la discussion actuelle, est uniquement d'établir que la France produit d'aussi bons aciers que l'Angleterre; il a cherché à le démontrer en indiquant que les procédés et les matières premières sont les mêmes, et en apportant les attestations des consommateurs ou manipulateurs les plus aptes à juger la question de qualité.

UN AUTRE MEMBRE trouve que la Société ne peut pas fournir un avis, les éléments pour apprécier la question manquent. Du reste, pour lui, s'il avait à donner son opinion, elle serait entièrement opposée à ce que l'on a demandé en commençant; il demanderait plutôt une réduction qu'une augmentation sur l'entrée des aciers fondus, afin d'en répandre l'emploi, et, dans le même but, il demanderait l'affranchissement de toute taxe sur le fer de Suède destiné à la fabrication de l'acier fondu.

UN AUTRE MEMBRE fait remarquer que, la discussion ayant été justement limitée à une question technique, la fabrication de l'acier et les rapports de la production avec la consommation doivent seuls occuper la Société.

L'ordre du jour est mis aux voix et adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que l'ordre du jour appelle ensuite la discussion sur l'application de la télégraphie électrique aux besoins du service des chemins de fer.

UN MEMBRE fait remarquer que, dans une des dernières séances, où l'on s'était occupé de l'exploitation des chemins de fer à une voie, la télégraphie électrique y avait été indiquée comme une annexe indispensable.

Depuis cette époque, M. Félix Mathias a, dans une note sur l'exploitation des chemins de fer allemands, éclairé beaucoup la question. Cette note est un exposé des faits qui serviront de base à la discussion sur les choses faites; mais il est un point qui n'a pas encore été indiqué et qui mérite de l'être.

Jusqu'ici le télégraphe électrique a été appliqué à deux fonctions: à la transmission d'ordres au moyen de l'alphabet, et à la mise en mouvement de sonneries pour attirer l'attention; on a tenté de le faire servir à un troisième usage, à la manœuvre à distance des disques et des signaux, et ce résultat serait facile à obtenir si l'on avait des appareils électriques assez puissants.

Rien, sur cette dernière application, n'est encore définitivement arrêté; mais des tentatives, des essais ont été faits, et, sans aucun doute, en travaillant dans cette voie, on ne peut manquer d'arriver à un résultat pratique.

Mais, pour que la discussion qui va s'engager sur la télégraphie puisse avoir pour tout le monde un intérêt réel, il est indispensable que la connaissance de tous les instruments de télégraphie, de la manœuvre et de leurs ressources, soit bien familière à chacun, et pour cela on prie M. Regnault, membre de la Société, de vouloir bien se mettre à la disposition de ses collègues, quelques heures avant la séance prochaine, pour exposer, les appareils en main, leur principe de construction et leur usage.

Il serait bon ensuite, pour donner de l'intérêt à cette discussion, que tous les membres qui se sont occupés de la marche des trains, des signaux, etc., apportassent le résultat de leurs observations, avec l'indication du rôle que pourrait y jouer la télégraphie électrique.

Il y a encore un point intéressant dans la télégraphie électrique : c'est l'étude de l'isolement de l'attache des fils télégraphiques.

La question est complexe ; cependant les succès obtenus par les télégraphes sous-marins sont de nature à rassurer sur les tentatives qu'on peut faire et sur la direction à leur donner.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le programme des questions soumises à la commission d'enquête sur les accidents des chemins de fer, qui a été distribué aux membres de la Société, servira de base aux discussions, et que dans la prochaine séance on commencera par ce qui regarde la télégraphie électrique.

SÉANCE DU 3 FÉVRIER 1854.

Présidence de M. VUIGNER, président.

L'ordre du jour appelle la discussion sur les progrès réalisés dans l'exploitation des chemins de fer par l'emploi de la télégraphie électrique.

UN MEMBRE dit que tout l'intérêt de la discussion, au point de vue de la question, doit porter sur l'exploitation des chemins de fer à une seule voie. Il regrette de ne point voir assister à la séance M. Deniel, ingénieur de l'exploitation du chemin de fer de Montereau à Troyes, en position, plus que tout autre, de donner des renseignements intéressants sur la question ; mais il va essayer de rapporter ce qu'il lui a entendu dire devant une commission des accidents instituée par le gouvernement.

Dans l'exploitation du chemin de Montereau, le télégraphe électrique, avec ses imperfections actuelles, aurait fait défaut plus de vingt fois dans l'année. M. Deniel donne pour cause de ces arrêts les influences atmosphériques, les orages, le défaut de soin des agents ; d'ailleurs, tout ce qui concernait cette partie du service était concentré entre les mains de l'État. Il était dès lors nécessaire de compter sur la régularité absolue des trains.

Pour l'obtenir, on fait usage de machines relativement très puissantes pour remorquer des trains très légers, et de plus on donne à ces trains peu de rapidité. Dans ces conditions, on parvient à éviter toute espèce d'accidents. Sous ce rapport, on ne saurait rien trouver de pareil sur un autre chemin; mais les circonstances sont tout à fait exceptionnelles, il est impossible de les réaliser sur les autres lignes.

Ainsi, le seul chemin à une voie que nous ayons en France ne peut nous donner aucun enseignement sur les perfectionnements de la télégraphie électrique au point de vue de l'exploitation des chemins de fer. Ici encore nous ne pouvons faire mieux que d'en revenir à la note de M. Mathias, où se trouvent consignés tous les progrès réalisés en Allemagne.

Il exprime également le regret que quelques membres de la Société ne se soient pas rendus à l'invitation de M. Regnault pour prendre connaissance des appareils de télégraphie électrique employés au chemin de fer de Saint-Germain.

Il dit avoir vu, dans la note de M. Mathias, que la correspondance par sonnerie électrique a rendu des services précieux; mais un progrès essentiel à réaliser actuellement consiste à appliquer les courants à faire tourner des disques au passage des trains. Le principal obstacle réside dans la dépense causée par la nécessité d'une très grande puissance dans le courant électrique. Il ne doute pas que l'on arrive à surmonter la difficulté. D'abord on perfectionnera les disques; on arrivera à les construire de manière à exiger le moins de force possible, à ne demander, pour leur mise en marche, que des échappements dont la force variera de 150 à 200 grammes. Ces échappements eux-mêmes, on les obtiendra certainement un jour; on doit les attendre du progrès que fera l'industrie de la télégraphie, qui n'en est encore qu'à ses premiers pas. Déjà en Allemagne, ainsi que le dit la note de M. Mathias, on a obtenu des échappements de la force de 80 grammes. Mais il faut, pour que ces progrès se réalisent, que les appareils soient abandonnés en toute liberté entre les mains des intérêts privés; en un mot, que la télégraphie soit émancipée comme industrie; que l'Etat ne se réserve que le contrôle nécessaire. Il pense que dans la Société des ingénieurs civils on peut exprimer très librement ses sympathies en ce sens.

On fait observer que les disques ouverts au passage d'un train doivent être refermés un certain temps après, ce que ne peut faire le courant électrique.

On répond que l'objection a été prévue et résolue de cette manière: l'échappement qui le fait ouvrir agit sur un mouvement d'horlogerie qui ramène le disque à sa place après le laps de temps nécessaire après le passage du train, de la même façon qu'ont fonctionné les appareils à aiguilles que les trains mettaient en marche à leur passage, et qui indiquaient au train suivant le temps écoulé depuis le passage d'un train précédent.

UN AUTRE MEMBRE ne croit pas que le contrôle de l'administration supérieure soit un obstacle aux progrès de l'industrie télégraphique. Il voit le gouvernement tout disposé à accorder ce qu'on lui demande. Il croit que, si la télégraphie électrique n'a pas fait plus de progrès, c'est que le débouché offert à cette industrie est très limité, parceque, les grandes compagnies de

chemins de fer en France ayant organisé leur service, les inventeurs ne sont pas stimulés à faire des dépenses de temps et d'argent nécessaires. Il ajoute toutefois que le chemin de fer de ceinture, où tout est encore à faire en fait d'appareils télégraphiques pourrait très bien, si l'on voulait s'y prêter, servir à expérimenter divers systèmes de disques à courants électriques.

On exprime le désir de voir M. Regnault donner les explications sur le maniement des appareils télégraphiques au siège même de la Société, ainsi qu'il en avait été question d'abord, et subsidiairement on demande quels sont les avantages propres des deux sortes de courants électriques, continus ou interrompus.

UN AUTRE MEMBRE répond que les courants continus sont plus faciles à obtenir et à entretenir. Un orage empêche souvent les appareils à courant intermittent de fonctionner; il ne fait rien sur les appareils à courant continu, dont la sensibilité est bien moindre. M. Regnault a eu l'idée de protéger contre les orages les appareils à courants interrompus au moyen de l'interposition de fils tellement fins, qu'ils fondent, et par suite isolent les appareils, quand la quantité d'électricité qui les traverse devient trop considérable.

Il croit que le monopole du gouvernement apporte des entraves réelles aux progrès de la télégraphie électrique, ou plutôt aux progrès que l'industrie libre pourrait réaliser dans l'emploi de l'électricité pour l'exploitation des chemins de fer. Il ajoute que la compagnie de Saint-Germain est la seule qui ait eu toute liberté de faire ce qu'elle voulait, et qu'il en est résulté que, sur le chemin de Saint-Germain, la question a été étudiée plus que sur toute autre ligne. On ne connaît en France que les appareils à échappements, c'est-à-dire où la puissance est due à un ressort tendu à l'avance; en Angleterre on trouve les appareils à aiguilles, où l'électricité est elle-même sa puissance motrice. Dans ces appareils, le mécanisme est élémentaire, tandis que dans ceux à échappement c'est un véritable mouvement d'horlogerie. Les premiers exigent, par conséquent, infiniment moins de soins que les autres.

Il doute que l'on obtienne aujourd'hui du gouvernement la permission d'appliquer ces appareils en France.

On ajoute que l'Etat a établi ses lignes télégraphiques d'après un certain système qui lui a paru le meilleur à son point de vue, et qu'il a dit ensuite aux compagnies de l'imiter.

UN AUTRE MEMBRE demande à rectifier cette assertion. L'administration, dans tous les traités passés avec les compagnies, a demandé seulement quels appareils on voudrait établir, et les compagnies ont pris ceux de M. Bréguet, parceque leur usage facile avait déjà eu la sanction de l'expérience. Pour son propre usage, l'Etat a des appareils spéciaux qui reproduisent exactement les signaux des télégraphes aériens, et qui ont pour lui l'immense avantage de n'avoir pour toute la France qu'un seul et même système de signaux pour la transmission des dépêches, soit par les télégraphes électriques, soit par les télégraphes aériens, qui fonctionnent encore sur certaines lignes. Les appareils adoptés par l'Etat atteignant complète-

ment le but qu'on s'est proposé, il n'a pas de motifs pour faire des essais avec d'autres mécanismes, et les compagnies de chemins de fer elles-mêmes, dont le service des dépêches est organisé, ne sont pas non plus très portées à faire des expériences. Il revient donc sur sa proposition relative au chemin de fer de ceinture, dont on pourrait faire un chemin expérimental pour l'application de l'électricité aux signaux nécessaires à l'exploitation d'un chemin à simple voie.

UN AUTRE MEMBRE n'admet pas sans réserves les bonnes dispositions de l'administration au sujet de la télégraphie électrique. Il comprend très bien, pour sa part, les résistances de l'administration à innover, en raison de l'immense échelle sur laquelle elle opère. Il veut dire seulement que ce n'est pas d'elle qu'il faut attendre le progrès, mais bien de l'industrie privée, qui, pour cela, a besoin d'une liberté absolue, de n'avoir aucun compte à rendre, de ne rencontrer aucune entrave, aucune prohibition. On stimulera de la sorte une grande masse d'idées, on fera du progrès, et cela surtout au point de vue du service spécial de l'exploitation des chemins de fer, qui est en ce moment l'objet de la discussion. Selon lui, la proposition faite relativement au chemin de fer de ceinture n'atteindrait nullement le but.

On fait observer que chaque compagnie de chemin de fer a tout au moins un ou deux fils à sa disposition, et qu'elle peut se livrer à tous les essais qu'elle jugera convenables. La plus grande liberté est, dit-on, nécessaire pour le progrès; cette liberté existe en Allemagne et en Angleterre. Que l'on voie dans ces pays ce qui a été fait! A-t-on fait mieux qu'en France? Que l'on cite, que l'on compare! Ce qui justifie le choix que l'administration a fait, c'est qu'avec ses appareils on va beaucoup plus vite qu'avec les appareils alphabétiques, plus vite qu'avec les aiguilles: c'est bien là une précieuse qualité.

M. THOYOT, ingénieur en chef des ponts et chaussées, objecte que les disques pourraient tromper dans le cas de deux trains marchant en sens contraire. On répond qu'il y a naturellement des disques pour chaque sens de la marche des convois.

UN MEMBRE donne quelques explications sur les avantages et les inconvénients des divers appareils et des deux sortes de courants électriques. Il ajoute que les chemins nouveaux seuls, où tout est à faire à neuf, peuvent essayer des systèmes nouveaux.

UN AUTRE MEMBRE est d'opinion entièrement opposée. Il n'admettra sur une ligne nouvelle que ce qui est bien connu; il se gardera bien de faire des essais. Il croit, au contraire, que l'on doit se livrer aux essais alors seulement que l'on est bien installé, alors que l'insuccès ne peut rien compromettre. Il ajoute que les courants interrompus sont supérieurs par la rapidité, mais qu'ils sont difficiles à régler, à cause des influences atmosphériques; les courants continus offrent, au contraire, l'avantage qu'on peut en mesurer l'intensité au moyen de l'aiguille aimantée.

On demande quel inconvénient l'administration trouve à donner toute liberté à la télégraphie électrique. On répond que tout se réduit à une question fiscale.

M. LE PRÉSIDENT, résumant la discussion, conclut que la seule réponse aux articles du programme de la commission d'enquête relatifs aux moyens à employer pour assurer la circulation sur les chemins à une seule voie serait qu'il faut pouvoir disposer de deux systèmes de courants : des courants continus et des courants interrompus.

SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1854.

Présidence de M. STÉPHANE MONY, vice-président.

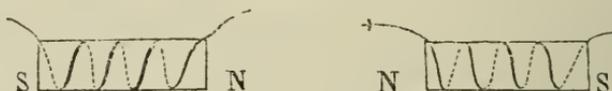
On demande à M. Regnault, membre de la Société, de vouloir bien exposer les divers systèmes de télégraphie adoptés dans l'exploitation des chemins de fer.

M. REGNAULT a la parole ; il donne les développements suivants sur les divers points de la télégraphie :

Aimantation du fer par un courant électrique.

Lorsque l'on enroule un fil métallique recouvert de soie autour d'un barreau de fer, et que l'on fait passer un courant électrique dans le fil, ce barreau devient un aimant, c'est-à-dire qu'il a la propriété d'attirer le fer et qu'il a deux pôles, l'un boréal, l'autre austral.

Si les spires du fil enroulé forment un pas à droite, le pôle N. (boréal) sera du côté par lequel entre le courant ; mais si les spires sont en sens contraire, c'est alors le pôle S. (austral) qui sera du côté de l'entrée du courant.



Les électro-aimants employés dans la télégraphie sont composés de deux barreaux, réunis par une traverse, pour que les deux pôles opposés soient sur un même plan.

Les spires des fils enroulés sur chaque barreau sont dans le même sens, ce qui donne alors les pôles contraires à chacun d'eux.

Déviation de l'aiguille aimantée par un courant électrique.

Lorsque l'on place au dessus d'une aiguille aimantée, posée horizontalement sur un pivot vertical, le conducteur qui réunit les deux pôles d'une pile, de manière que le courant entre du côté du pôle boréal de l'aiguille,

celle-ci se trouve déviée sur la gauche, et si l'on vient à renverser la direction du courant, la déviation de l'aiguille est opposée.

Si le fil conducteur est placé au dessous de l'aiguille aimantée, les déviations sont contraires à celles indiquées ci-dessus.

Télégraphe de Schweiger.

Cet appareil est fondé sur la propriété que possède un courant électrique de dévier de sa position une aiguille aimantée mobile sur son centre. Dans cet appareil on compte les mouvements de l'aiguille à droite et à gauche ; pour cela, l'aiguille ne peut faire que de petites oscillations entre deux goupilles qui limitent ses mouvements.

Le manipulateur est fait de manière que l'on peut changer le sens du courant, ce qui permet de faire aller l'aiguille à droite ou à gauche, à volonté. Tel est le télégraphe généralement employé en Angleterre.

Télégraphe de Bréguet.

On s'est servi, pour le télégraphe alphabétique, de la propriété qu'à le fer de s'aimanter instantanément par un courant, et de perdre cette aimantation avec la cessation du courant.

Le récepteur se compose d'un mouvement d'horlogerie qui commande l'aiguille du cadran. L'échappement du rouage porte une palette en fer doux, qui est placée à une petite distance des pôles d'un électro-aimant.

Lorsque l'on fait passer un courant électrique dans le fil qui enveloppe l'électro-aimant, la palette est attirée, et, aussitôt que le courant cesse, le ressort ramène la palette dans sa position primitive. Ce mouvement de va-et-vient de la palette déclanche successivement les dents de l'échappement, et permet d'amener l'aiguille sur les lettres que l'on veut désigner.

Le manipulateur se compose d'un cadran portant les mêmes signes que celui du récepteur. La manivelle est articulée au centre du cadran, avec un axe qui porte une roue, sur le plan de laquelle est creusée une gorge excentrique dont les sinuosités sont régulières et en nombre égal à celui des signes gravés sur le cadran. Cette roue produit, par sa rotation, le mouvement de va-et-vient d'un levier qui oscille sur l'un des piliers du cadran, et va toucher alternativement aux contacts de la pile et du récepteur, c'est-à-dire qu'il est quatorze fois en communication avec la pile pour un tour du cadran, ce qui produit quatorze aimantations de l'électro-aimant du récepteur, et fait faire un tour complet à l'aiguille.

Il suffit donc d'amener la manivelle sur les lettres que l'on veut désigner pour que l'aiguille du récepteur les reproduise, puisque les courants s'établissent par le contact du levier avec la pile.

La sonnerie se compose d'un rouage semblable à celui d'un réveil-matin ; la détente porte une palette en fer doux qui est placée, comme dans le récepteur, en regard des pôles d'un électro-aimant. Lorsque l'on fait passer un courant électrique dans le fil de l'électro-aimant, la palette est attirée, et son déplacement déclanche la détente du rouage qui soulève le marteau

Quand le courant cesse, la palette reprend sa position primitive et enclanche la détente qui arrête la sonnerie.

Ces appareils sont employés sur tous les chemins de fer français.

Télégraphe de l'Etat.

Le récepteur se compose de deux rouages d'horlogerie placés à une distance suffisante pour que les deux aiguilles puissent tourner sans se rencontrer. La roue d'échappement est divisée en quatre dents et n'avance à chaque mouvement que d'une demi-dent, de sorte que l'aiguille prend huit positions différentes par tour de roue, en avançant de 45° chaque fois.

Comme il y a deux aiguilles, et que chacune d'elles prend huit positions indépendantes l'une de l'autre, on obtient soixante-quatre signaux par la combinaison des huit mouvements, et l'on en double le nombre par un signal de convention, ce qui donne alors cent vingt-huit signaux.

Le manipulateur est, comme le récepteur, composé de deux parties indépendantes et semblables; chacune d'elles est en rapport avec un des côtés du récepteur par un fil spécial, ce qui nécessite deux fils sur la ligne. Les courants s'établissent par les moyens employés dans l'appareil alphabétique.

Ce télégraphe a l'avantage de faire des signaux très nets, d'être d'une grande sûreté, et de pouvoir se manœuvrer avec une grande rapidité.

Télégraphe de Wheatstone.

Ce télégraphe est basé sur la propriété que possède un aimant de produire un courant électrique dans le fil d'une bobine que l'on approche de l'un de ses pôles.

Le manipulateur se compose d'un aimant au dessus duquel est un électro-aimant qui est en communication, par un engrenage, avec l'axe du cadran. Le mouvement de rotation du cadran fait passer successivement les pôles de l'électro-aimant sur ceux de l'aimant, dont ils s'approchent d'abord, puis s'éloignent ensuite, et produirait ainsi deux courants en sens contraire, si la disposition du commutateur ne supprimait pas celui qui devrait s'établir lorsque l'électro-aimant s'approche de l'aimant.

La manœuvre du cadran produit alors des courants intermittents qui aimantent l'électro-aimant du récepteur, et sa palette, en se déplaçant, arrête l'aiguille sur les lettres que l'on veut représenter.

Cet appareil donne de très bons résultats, et fonctionne depuis neuf ans sur le chemin de fer de Saint-Germain.

Télégraphe de Siemens.

Ce télégraphe est un des plus simples, en ce sens que le même appareil sert de manipulateur et de récepteur, et qu'il n'y a pas de rouage pour faire tourner l'aiguille.

L'électro-aimant fait agir une palette qui porte un levier à l'extrémité duquel sont fixés les mentonnets qui font marcher la roue d'échappement, et qui transforme directement le mouvement alternatif de la palette en un

mouvement circulaire. Le levier de la palette établit, en se déplaçant, les contacts qui donnent passage au courant de la pile, de sorte que le circuit est fermé lorsque la palette est éloignée des pôles de l'électro-aimant, et qu'au contraire le circuit est ouvert lorsque la palette en est rapprochée.

Il suffit donc de mettre une pile en communication avec l'électro-aimant pour déterminer la marche de l'aiguille, puisque les contacts s'établissent d'eux-mêmes par le déplacement de l'armature.

Les touches qui sont à la circonférence du cadran portent des chevilles qui, lorsqu'elles sont abaissées, arrêtent l'aiguille qui est fixée sur l'axe de la roue, et déterminent aussi l'arrêt de l'aiguille opposée, puisque, dans cette position de la palette, le courant est interrompu.

Appareil à imprimer, de Siemens.

Cet appareil est à peu près semblable, quant au mouvement, à celui qui sert à la conversation. Le clavier est supprimé et l'aiguille est remplacée par un cadran en acier qui porte les mêmes lettres, en relief, que les touches; ce cadran est découpé entre les lettres pour que chacune d'elles puisse être soulevée isolément.

Au dessous des lettres de ce cadran est un marteau qui est fixé à l'extrémité du levier d'une forte palette qui est placée en regard des pôles d'un électro-aimant. Le contact du courant électrique qui passe dans le fil de cet électro-aimant est établi par le battement alternatif de la palette qui fait marcher le cadran, de sorte que la palette de l'imprimeur n'a pas le temps d'agir lorsque le cadran tourne sans arrêt, puisque sa masse est plus considérable que celle de la palette qui fait marcher le cadran, et qu'elle a plus de chemin à parcourir.

Au dessus du cadran est un rouleau qui porte l'encre et qui reçoit son mouvement de rotation du marteau imprimeur. La bande de papier est portée sur deux poulies et passe entre le rouleau et le cadran; cette bande est entraînée par le mouvement du rouleau, de sorte qu'à chaque impression le papier avance toujours de l'intervalle de deux lettres.

La manœuvre de l'appareil expéditeur ne change pas lorsque l'on imprime au poste de réception, parceque le temps d'arrêt que l'on fait pour abaisser la touche est plus que suffisant pour l'impression.

Ces appareils sont d'une manœuvre facile, mais ils ont l'inconvénient de marcher lentement, d'exiger un courant très énergique, et d'être très difficiles à régler.

Appareils de secours.

Ce système se compose d'un récepteur, d'une sonnerie et d'appareils interrupteurs.

Les noms des stations où sont placés les appareils interrupteurs sont gravés sur le cadran du récepteur. Le courant électrique passe constamment dans la sonnerie, dans le récepteur et sur la ligne, de sorte que l'aimantation de leurs électro-aimants est permanente.

Le fil de la ligne traverse les appareils interrupteurs, qui sont disposés pour couper le courant autant de fois, en un tour de manivelle, qu'il y a d'unités dans le numéro de la station où ils sont placés.

Il suffit donc, pour signaler qu'un train est en détresse et indiquer l'endroit où il est resté, de faire faire un tour à la manivelle de l'appareil interrupteur, pour que le courant soit coupé, que la sonnerie soit déclanchée, et que l'aiguille du récepteur se place sur le nom de la station qui demande le secours, puisqu'à chaque interruption du courant l'aiguille avance d'une division.

Ces appareils ont l'avantage de pouvoir être manœuvrés par tous les employés, d'être d'une grande sûreté, et de donner en une seconde le signal d'un train en détresse et l'endroit où il est resté.

Ces appareils fonctionnent depuis huit ans sur le chemin de fer de Saint-Germain.

M. LE PRÉSIDENT appelle l'attention sur un fait qui se passe aujourd'hui dans l'industrie importante des bronzes.

Depuis quelque temps, dans beaucoup de fonderies, par des raisons hygiéniques, et aussi par des considérations de beauté et de qualité supérieure des produits, on a remplacé par de la fécule la poussière de charbon dont on saupoudrait les moules.

Mais un retour vers les anciens procédés vient de se manifester chez quelques fabricants, qui ont reconnu au charbon des résultats industriels plus parfaits, sans reconnaître à la fécule aucun des avantages hygiéniques si vantés.

Cependant les ouvriers de ces établissements n'ont pas voulu se soumettre à cette décision de leurs patrons. Une réunion a eu lieu parmi eux, et ils ont adressé au chef de l'Etat une pétition pour faire trancher la question en faveur de la fécule. Une commission composée d'ingénieurs, de médecins, a été nommée pour examiner la question et donner son avis. Des fabricants ont été appelés. Les uns n'ont attribué à la fécule que des avantages sérieux; d'autres ont été forcés d'y renoncer à cause de l'infériorité des produits qu'elle donnait. M. le président appelle sur cette matière l'attention des membres de la Société, et prie ceux d'entre eux qui auraient quelques documents importants de vouloir bien les communiquer et les adresser au siège de la Société.

SÉANCE DU 3 MARS 1854.

Présidence de M. POLONCEAU, vice-président.

M. JULES GAUDRY donne lecture d'un mémoire sur les bateaux à vapeur.

L'ordre du jour appelle ensuite la lecture du mémoire de M. Debonnefoy sur l'emploi du caoutchouc vulcanisé dans les chemins de fer.

On fait connaître une nouvelle forme de rondelles en caoutchouc dont M. Spencer est l'inventeur. Ces rondelles sont de forme à peu près sphérique; dans le milieu est pratiquée une gorge destinée à recevoir un anneau. M. Spencer, pour expérimenter ces rondelles, en a superposé dix, qu'il a soumises à un effort de compression de 50,000 kilogr. Après 317,000 compressions successives, ces rondelles n'offraient pas la moindre altération; l'appareil donnait d'ailleurs une très grande course. Ce fait tendrait à prouver qu'il existe des qualités de caoutchouc et aussi des formes de rondelles capables d'une grande compression et de compressions répétées sans altération.

On fait observer que le caoutchouc français est loin de produire de pareils effets, et que généralement, après quelques compressions un peu fortes, il est altéré.

On ajoute qu'on a essayé une des rondelles dont il vient d'être question à la presse hydraulique, et qu'après l'épreuve elle n'avait subi aucune altération. Cette rondelle avait environ 12 centimètres de diamètre; elle a supporté 10,000 kilogr. en se comprimant de 5 centimètres. L'emploi du caoutchouc est appelé à se répandre, et l'on pourra réaliser de grands progrès en améliorant la forme des rondelles; pour cela il serait bon, avant de rien conclure, qu'on fît l'essai de toutes les sortes de rondelles.

M. LE PRÉSIDENT fait observer qu'il ne doit être question que des rondelles telles qu'on les emploie, et non pas de celles de toutes formes que l'on pourra imaginer.

On dit avoir vu des rondelles qui, restées pendant fort long-temps comprimées sans pouvoir se détendre, avaient perdu toute espèce d'élasticité: d'où il résulterait qu'une charge permanente détruirait l'élasticité.

UN MEMBRE dit avoir adressé à la Société un mémoire sur les rondelles en caoutchouc, et dont les conclusions sont contraires à celles du mémoire de M. Debonnefoy. Cela vient de ce qu'il raisonnait sur des rondelles infiniment meilleures que celles que l'on fait aujourd'hui. Il pense qu'elles ont perdu beaucoup de leur qualité, et il augure bien de la concurrence que tend à leur faire l'acier pour les ramener à leur bonté d'autrefois. Il insiste sur le grand avantage de l'emploi du caoutchouc pour ressort de choc, sur celui de l'acier au point de vue de l'entretien. L'entretien des tampons de choc en caoutchouc ne coûte presque rien et se fait au moyen d'un simple remplacement de rondelle, tandis que les ressorts en acier, après une ou deux réparations, exigent une réforme complète. Il ajoute que le caoutchouc se comporte très bien quand on a soin de limiter sa compression, comme on le fait pour les ressorts en acier.

M. DEBONNEFOY répond qu'avant de tirer les conclusions de son mémoire il s'est entouré de tous les renseignements possibles. Suivant lui, la réparation des ressorts en acier est tout à fait accidentelle lorsque les ressorts sont de bonne qualité, c'est-à-dire tels que les chemins de fer se les procurent aujourd'hui, tandis qu'il a vu tout le contraire pour des ressorts en caoutchouc. Il fait, en outre, remarquer qu'un grand désavantage du caoutchouc, par rapport à l'acier, est le peu de course dont il est susceptible.

On signale dans le mémoire une lacune importante, à savoir la loi de

décroissance de la compressibilité du caoutchouc pour des augmentations égales de pression. C'est un élément indispensable à connaître quand il s'agit d'amortir des chocs.

UN AUTRE MEMBRE, à l'appui de l'opinion de M. Debonnefoy relativement aux ressorts en acier, cite le chemin de fer de Lyon, où, sur 4,000 ressorts de suspension, l'on n'en a eu que quelques uns à réparer.

Il ajoute encore que l'on a été très peu satisfait du caoutchouc au chemin de fer de Lyon, et que l'on est décidé à l'abandonner.

Il dit avoir fait des ressorts en hélice en acier donnant 75 millimètres de course et ne pesant que 8 kilog. Quant à l'emploi du caoutchouc, il le croit possible, à la condition de limiter convenablement la déformation. Il croit les rondelles ordinaires préférables aux rondelles en boule ; il voudrait même voir diminuer l'épaisseur des rondelles ordinaires, au lieu de l'augmenter. Il cite comme exemple de la destruction rapide des rondelles en caoutchouc les martinets Schmerber, où ces rondelles sont détruites au bout de six semaines quand elles sont de bonne qualité, et ne résistent que quelques jours quand elles sont mauvaises.

SÉANCE DU 17 MARS 1854.

Présidence de M. VUIGNER, président.

Il est donné lecture d'une note de M. Regnault, membre de la Société, sur un nouvel appareil télégraphique qu'il a imaginé pour assurer la marche des trains, principalement sur les chemins de fer à une voie.

L'appareil, qui paraît remplir ces conditions et que nous allons décrire, doit être considéré comme un tableau indiquant d'une manière permanente l'absence ou la présence d'un ou de plusieurs trains en mouvement sur la ligne. Il est ajouté aux appareils actuellement en usage, non pas pour les suppléer, mais bien plutôt pour les compléter et pour indiquer en dehors du bureau du télégraphe, à tous les employés d'une même station, les mouvements des trains, et, par conséquent, rendre en quelque sorte tous les agents solidaires des ordres donnés pour lancer ou arrêter un train.

Les moyens de communication que fournit la télégraphie électrique sont arrivés aujourd'hui à un assez grand degré de perfection pour qu'il soit possible de les appliquer avec des chances à peu près certaines de succès à éviter la rencontre des trains marchant en sens opposé sur un chemin de fer à une seule voie.

L'emploi que l'on a fait jusqu'ici de la télégraphie électrique n'a pas encore résolu le problème, d'abord parceque les appareils affectés à cet usage n'ont point été réduits à leur plus grande simplicité, ensuite parceque la communication par phrases écrites est sujette à la double erreur que

peuvent commettre l'employé qui expédie la dépêche et celui qui la reçoit, enfin parceque les appareils dont on se sert ne laissent pas de trace permanente de la dépêche qui a été transmise.

Pour faire comprendre l'usage de ce nouvel appareil, supposons un chemin de fer à une seule voie, d'une longueur quelconque; divisons-le en zones séparées les unes des autres par une distance de 20 kilomètres environ, et proposons-nous de trouver un moyen simple, à l'usage de l'homme même le moins lettré, d'indiquer la présence d'un train marchant dans un sens quelconque par un appareil qui conservera d'une manière permanente, et pendant tout le temps que le train emploiera à parcourir l'espace qui sépare deux stations télégraphiques, l'indication première qui a été donnée.

Supposons, par exemple, deux stations A et B d'un chemin de fer à une seule voie. Dans ces deux stations, deux indicateurs, *a*, *b*, sont mis en communication au moyen d'un courant électrique.



Lorsque la voie est libre entre les deux stations A et B, les aiguilles des indicateurs *a*, *b*, conservent une position verticale.

Avant de lancer un train sur la station B, l'agent en A, fermant le circuit du courant électrique par un procédé qui sera indiqué plus tard, fait incliner à droite les aiguilles n° 1 des indicateurs *a* et *b*. Dès lors, la station B, vers laquelle s'avance le train, a devant les yeux, pendant tout le temps de sa marche ou de ses arrêts sur la portion de ligne comprise entre A et B, un signe permanent, visible pour tous, que la voie est occupée. Quand ce même train est arrivé à la station B, le chef de cette station coupe le courant au moyen d'un commutateur, et les aiguilles n° 1 des indicateurs *a* et *b* reprennent leur position verticale, et alors on sait en A et en B qu'entre ces deux points la voie est libre.

Si cinq, dix ou quinze minutes après le départ d'un premier train de la station A, on veut en expédier un second marchant dans le même sens que le premier, il suffit d'avoir une seconde aiguille, n° 2, dans les indicateurs *a* et *b*, qui représente le mouvement du deuxième train, comme l'aiguille n° 1 représente celui du premier.

Par conséquent, si, après l'arrivée du premier train, l'agent B oubliait qu'il doit attendre un second train avant d'en expédier un lui-même en sens contraire, c'est-à-dire de B en A, le nouvel indicateur le lui rappellerait en lui faisant voir l'aiguille n° 2 inclinée à droite. Ce que nous venons de dire des rapports télégraphiques établis entre la station A et la station B s'applique à ceux qui existent entre la station B et la station suivante C, et ainsi de suite.

Ce qu'il importe de remarquer, c'est que toute station intermédiaire est pourvue de deux appareils, le premier communiquant avec la station précédente et le deuxième avec la station suivante. Chaque station peut donc, au

moyen de cet appareil, transmettre l'annonce du départ de deux trains successifs, marchant dans le même sens, vers la station de droite, et de deux autres trains successifs, marchant dans le même sens, mais se dirigeant vers la station de gauche. La seule inspection des aiguilles des indicateurs fait voir dans les trois stations consécutives qu'entre ces trois points la voie est libre ou occupée, et de plus dans quel sens les trains sont en mouvement, car l'inclinaison des aiguilles est toujours dans le même sens que la marche des trains.

Au moment de l'inclinaison des aiguilles, il se fait entendre dans la station que l'on veut avertir une sonnerie qui éveille l'attention du stationnaire, et le met en garde contre les trains à grande ou à moyenne vitesse qui peuvent stationner chez lui, ou passer la station sans s'y arrêter.

Il est bien entendu dès lors que, pour les trains à grande vitesse qui ne doivent pas s'arrêter, chaque stationnaire devant lequel ils passent doit prendre toutes les mesures nécessaires pour les arrêter en temps utile, si les aiguilles de son second indicateur lui annoncent la marche d'un train vers la station en sens contraire du premier.

Examinons maintenant l'appareil dont nous venons d'expliquer le jeu.

L'*indicateur* est fondé sur la propriété que possède un courant électrique de dévier de sa position une aiguille aimantée. Dans cet appareil on emploie deux galvanomètres verticaux posés à une petite distance l'un de l'autre. L'une des aiguilles de chaque galvanomètre est placée en avant du cadran, et l'autre passe dans l'intérieur de la bobine qui porte les fils multiplicateurs du courant électrique.

Lorsque l'on fait passer un courant électrique dans le fil de la bobine, l'aiguille aimantée s'incline dans un sens, et si l'on renverse la direction du courant, l'aiguille aimantée est déviée dans le sens opposé.

Le *manipulateur* est basé sur la propriété qu'a le fer de s'aimanter instantanément quand un courant électrique traverse le fil qui l'entoure, et de perdre cette aimantation lorsque le courant est interrompu.

Cet appareil est composé de deux électro-aimants, dont les armatures mobiles établissent à volonté la communication de la ligne avec la pile ou avec la terre, suivant qu'elles touchent avec un des deux contacts qui limitent leur course.

Lorsque les armatures sont éloignées des électro-aimants, les fils de la ligne sont en communication avec la terre; mais lorsque l'une d'elles est approchée des pôles de l'électro-aimant, elle ferme le circuit de la pile, et le courant, en passant dans le fil qui enveloppe l'électro-aimant, aimante ce dernier, qui maintient alors l'armature dans cette position.

Le circuit de la pile étant établi par l'armature de l'électro-aimant, le courant passe dans les bobines et sur la ligne, et les aiguilles des indicateurs sont déviées de la position verticale.

Il suffit donc, pour annoncer le départ d'un train, de pousser à la main l'armature de l'électro-aimant pour établir le circuit de la pile, et, pour en signaler l'arrivée, de couper le courant un instant par un renversement du commutateur pour faire cesser l'aimantation de l'électro-aimant, et permettre ainsi à l'armature de se déplacer par l'effet du ressort qui tend à l'éloi-

gner du contact, et d'interrompre ainsi toute communication avec la pile.

Ainsi, l'appareil est uniquement composé d'*électro-aimants*, de *galvanomètres* et de *commutateurs*; tout mécanisme d'horlogerie en est rigoureusement exclu.

En résumé, le stationnaire A met à la main l'armature en contact, et dès lors le courant, passant dans le galvanomètre, fait dévier les aiguilles, et c'est le stationnaire B qui, au moyen de son commutateur, éloigne cette même armature dans la station A, et, par conséquent, interrompt le courant, ce qui permet de suite aux aiguilles de reprendre leur position verticale.

De plus, la déviation des aiguilles des indicateurs est toujours dans la direction de la marche des trains, et n'est pas laissée à la volonté de l'employé; le sens de la déviation est absolu et dépend uniquement du pôle de la pile qui est en communication avec l'appareil.

Les sonneries, les relais et les commutateurs sont, du reste, semblables à ceux employés dans la télégraphie *ordinaire*.

M. REGNAULT donne quelques explications verbales, qui lui sont demandées, sur l'inconvénient qui pourrait résulter de la rupture du fil télégraphique entre deux stations, inconvénient qui aurait pour résultat de laisser sur un des cadrans une indication qui ne se trouverait pas reproduite sur l'autre, et qui, par conséquent, pourrait faire engager deux trains sur la même voie. M. Regnault répond qu'il suffit, pour faire disparaître ce danger, de mettre les piles au point où doit parvenir la dépêche, au lieu de la mettre au point de départ.

M. LE PRÉSIDENT annonce que la compagnie de Strasbourg va demander au gouvernement l'autorisation nécessaire pour faire des essais sur les appareils télégraphiques, et qu'il y a lieu d'espérer qu'on arrivera à des solutions qui intéressent si vivement l'exploitation des chemins de fer à simple voie.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion du programme sur les accidents de chemins de fer.

On fait remarquer qu'il serait bon d'écarter de la discussion tout ce qui dans ce programme serait en dehors des questions techniques. C'est du reste ainsi que la question avait été posée à l'origine. On demande qu'on y revienne et qu'on fasse un choix de questions qui devront être soumises à l'examen.

UN MEMBRE entre dans quelques détails à ce sujet, et, cette opinion étant approuvée, il est décidé que la discussion aura lieu dans la prochaine séance.

UN MEMBRE attire l'attention de la Société sur le choix de l'endroit où l'on doit faire une prise d'eau dans les rivières pour l'alimentation des chaudières.

Ainsi, il a remarqué que les puits où viennent aboutir les tuyaux de prise d'eau sont creusés trop près des bords de la rivière, et alors ce n'est pas l'eau de cette rivière qu'on y recueille, mais presque toujours les eaux du rivage qui viennent s'y rendre.

Ces eaux sont ordinairement très impures. Ainsi, sur les bords de la

Seine, à Ivry, on a recueilli des eaux qui contenaient jusqu'à un kilogramme de matière par mètre cube.

Il faut donc éloigner les puits le plus possible des bords et rendre le cuvelage aussi étanche que possible, afin d'éviter les infiltrations. Pour atteindre ce but, on fait en général le cuvelage en fonte.

On rappelle à ce sujet que MM. Thomas et Laurens, dans une conduite d'eau très longue et sujette à des jonctions, dans le but d'éviter les aspirations d'air et d'eau impures qui traversaient les tuyaux, les avaient enveloppés d'une espèce de manchon en béton, laissant entre les deux un intervalle de 2 à 3 centimètres dans lequel on faisait couler de l'eau provenant de la rivière.

De cette façon, quand il se déclarait une fuite, jamais on n'aspirait ni eau impure ni air.

UN AUTRE MEMBRE donne quelques renseignements sur l'accumulation des neiges qui ont arrêté la circulation sur le chemin de Strasbourg. On a observé que l'encombrement n'a jamais eu lieu dans les grandes tranchées; il ne s'est manifesté que dans les tranchées de 3 à 4 mètres et à leur entrée. Il y a eu aussi encombrement sur des remblais situés en plaine.

Pour éviter les accumulations de neige, on avait essayé des espèces de paravents de 1^m,30 à 1^m,50 de haut, faits de palissades espacées, et on a remarqué que leur effet était de produire une accumulation en avant des obstacles. Enfin, on a remarqué que, partout où il y avait des plantations assez hautes, il n'y avait pas d'accumulation : aussi a-t-on décidé que, sur les points où d'ordinaire les vents chassent la neige, on établirait un rideau de plantations pour briser les courants.

L'accumulation des neiges sur le chemin de Strasbourg s'est élevée pendant l'année 1853 à 300,000^{mc}, et a causé une dépense de 30,000 fr. pour leur enlèvement, et en 1854 à 1,200,000^{mc}, pour l'enlèvement desquels on a dépensé 90,000 fr.

On a observé sur les chemins d'Alsace les mêmes phénomènes que ceux observés sur la ligne de Strasbourg.

SÉANCE DU 7 AVRIL 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

Il est donné connaissance de quelques perfectionnements importants apportés dans la construction des signaux par M. Er. Chabrier, membre de la Société, ingénieur du service des travaux et de la surveillance du chemin de Saint-Germain.

Il arrive fréquemment, dans les signaux manœuvrés à distance, que le fil unique de transmission se rompt, et qu'alors le disque abandonné indique que la voie est ouverte quand elle devrait être fermée. Le perfectionnement

apporté par M. Chabrier consiste à faire en sorte, par la disposition des leviers et contre poids, que le disque indique toujours que la voie est fermée quand le fil est cassé.

Un second perfectionnement, également introduit par M. Chabrier, a pour but de remédier à l'allongement du fil par la dilatation, allongement qui produit sur le disque des indications inexactes. Ainsi, tantôt la voie n'est qu'à moitié ouverte ou à moitié fermée, les leviers étant cependant à l'extrémité de leur course, en sorte que les mécaniciens peuvent être facilement trompés.

Le moyen simple pour remédier à cet inconvénient est de faire que le levier qui correspond au disque et qui est conduit par le fil ait une longueur beaucoup plus grande que celui qui est manœuvré par le cantonnier ; de cette façon, une petite différence dans la longueur du fil devient insensible, et ne peut produire qu'une faible influence sur l'axe décrit par le levier du disque.

Les deux perfectionnements que nous venons d'indiquer sont très simples et très efficaces. Nous les recommandons à l'attention des ingénieurs, et cette communication, en les mettant dans le domaine public, a pour but de les affranchir d'un brevet.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Chabrier de vouloir bien rédiger sur ce perfectionnement une note et un dessin.

UN MEMBRE demande à indiquer un moyen télégraphique par lequel, sans appareils nouveaux, on peut assurer la circulation sur un chemin de fer à une seule voie. Dans ce système, il suffit à la station qui expédie un train de donner à la station qui doit le recevoir l'ordre de fermer sa voie. Cette station, pour réponse, exécute immédiatement l'ordre qu'on lui donne, et, en faisant mouvoir le disque qui couvre la voie, fait, en coupant et reformant le courant plusieurs fois, résonner dans la station la cloche de départ : c'est la garantie qu'attend le mécanicien pour partir ; il est alors assuré que sa voie est couverte, puisque sans cette précaution la cloche ne peut se mouvoir.

Or, pour donner l'ordre, on peut se servir des appareils existants, et, pour répondre, on n'a besoin que d'une sonnerie très simple, d'un son différent de celui des sonneries d'appel. Il n'y a donc là aucun appareil nouveau.

Cette disposition présente ceci de spécial :

1° Qu'on ordonne les précautions à prendre et qu'on les fait exécuter immédiatement ;

2° Qu'on est sûr que les ordres sont exécutés ;

3° Que, si, par une cause quelconque, la sonnerie de départ ne résonne pas, il n'en résulte qu'un retard, et pas d'autre inconvénient ;

4° Que l'on n'a besoin que d'un fil pour signaler un ou plusieurs trains dans le même sens ;

5° Qu'il n'y a aucun appareil nouveau ;

6° Que les agents ne peuvent pas oublier leur service, puisqu'il ne s'écoule pas une seconde entre l'ordre qu'ils reçoivent et son exécution ;

7° Qu'un disque fermé de grande dimension est visible pour tous les employés, en quelque point de la station qu'ils se trouvent, et leur indique que, derrière ce disque la voie est occupée ;

8° Que, quand tous les agents d'une station seraient absents au passage d'un train direct, le mécanicien, le chauffeur, le chef de train, verraient bien, eux, si la voie est fermée ou non ;

9° Que, si l'on pose en outre cette condition que la voie ne sera ouverte qu'en présence du train attendu, la sécurité sera complète ; si l'on veut, en outre, assurer cette régularité, il suffit de disposer au dessus du disque un timbre qui ne sonnera que lorsque le disque reviendra dans sa première position. C'est la réponse aux coups de sifflet donnés par le mécanicien à l'approche des stations.

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion sur le programme de la commission d'enquête.

On indique, relativement à la première question, que sur diverses lignes de chemins de fer en exploitation, en France comme à l'étranger, il a été employé des rails à double champignon d'une longueur de 4^m.50 avec quatre traverses par rail, et que la voie a été posée de cette sorte, que l'écartement d'axe en axe est de 1 mètre entre la traverse de joint et la première traverse intermédiaire, et de 1^m.25 entre les autres traverses intermédiaires.

Ce système a été admis sur la ligne de Strasbourg et les embranchements, en donnant au rail une hauteur de 0^m.13, à la table une largeur de 0^m.06, et à la tige une épaisseur de 0^m.010, dimensions qui ont déterminé un poids de 37 kil. 50 par mètre courant.

L'écartement de 1^m.25 entre la traverse intermédiaire est peut-être un peu fort, mais à cela près la voie est dans de très bonnes conditions.

Il y a eu dans l'origine quelques ruptures de rails, mais ces ruptures avaient été plutôt attribuées à des détériorations dans les travaux de terrassements et des plats dans les bandages des roues de machines qu'à la qualité des rails.

On cite la ligne d'Orléans à Bordeaux, où les rails ne pèsent que 33 kilog., où l'échantillon des traverses est faible, surtout en longueur, et où cependant, à cause de la bonne qualité du ballast, la rupture des rails a été très faible. Dans l'année qui vient de finir, et sur 400 kilomètres, il n'y a eu que douze rails cassés ; il faut même dire que, sur une portion de cette ligne, on a été obligé de prendre pour ballast du caillou cassé, ballast qui généralement ne devient bon qu'après une année d'exploitation.

On pense que, pour des voies ainsi établies et avec des rails à champignon sur traverses, il faudrait réduire l'écartement des traverses et supprimer la traverse de joint, qu'on remplacerait par des éclisses.

Dans le but aussi d'éviter ces joints, on a tenu à donner aux rails la plus grande longueur possible ; aussi a-t-on employé des rails de 6 mètres de longueur partout où il a été possible de le faire.

Quant à la qualité des rails, il est difficile de se prononcer d'une manière absolue ; on a trouvé chez tous les fournisseurs les mêmes variations de produits, les mêmes inégalités.

On estime qu'on peut mieux préciser les faits quant à ce qui est de la qualité des fers. Ainsi, on peut dire sans crainte que les forges font les rails avec la plus mauvaise qualité de fer qu'elles peuvent trouver.

En général, une usine qui fabrique des fers marchands de bonne qualité

fait toujours des rails très médiocres, et l'on remarque, par exemple, qu'un fer marchand n° 1 est toujours supérieur à un fer de rail de même numéro. On remarque aussi qu'un haut-fourneau qui fait la fonte destinée au fer marchand n'est pas le même que celui qui est destiné au fer de rails.

Les rails prétendus durs sont faits de fer cassant à froid ; les rails mous sont faits de fer dont la qualité se rapproche de celle des fers marchands. La plupart de nos usines n'obtiennent la dureté du fer de rail qu'en y mélangeant des minerais sulfureux, des minerais inférieurs à ceux qu'ils emploient pour la fabrication des autres fers, et ces fers cassants à froid se travaillent très mal à chaud, ce qui indique un vice radical. Les rails cassent presque toujours à 0^m.30 du joint, parceque c'est là que se développent les plus grandes flexions.

Quant à une amélioration dans la fabrication des rails en France, il ne faut y compter que par la création d'usines rivales établies dans des localités où les minerais sont bons. Ainsi, on peut citer les départements de la Meuse, de la Marne, de la Nièvre et du Cher.

On ne saurait se faire une idée de la durée des voies par l'emploi d'un bon fer et l'emploi d'un bon ballast. Le chemin de Mulhouse à Thann en est un exemple, puisque depuis quinze années ce chemin n'a subi aucune réparation ; les rails n'y sont que d'un poids de 22 kilogr., et ils portent les lourdes machines à six roues qui font le service du chemin d'Alsace.

Les autres pays donnent plus d'importance que nous n'en mettons à la fabrication des rails. Ainsi l'Angleterre et l'Allemagne fabriquent mieux que nous ne fabriquons. C'est que, par une grossière erreur, on estime que pour les rails toute qualité de fer est suffisante.

On pense que dans le système de rails avec supports discontinus on arriverait à établir une voie dans de bonnes conditions en donnant au rail une longueur de 6^m et en admettant entre les supports un écartement uniforme de 1^m.00.

La condition serait meilleure encore si, comme on le fait généralement maintenant en Angleterre et en Allemagne, on mettait des éclisses aux joints, en supprimant alors la traverse et le coussinet de joint.

C'est ce qui a été fait en 1852 au chemin de Saint-Germain, ainsi qu'au raccordement de Viroflay, où l'on a adopté des rails de 6 mètres pour éviter la flexion au joint. On avait essayé de rapprocher les premières traverses intermédiaires de la traverse de joint, en ne laissant entre les deux que l'espace nécessaire pour faire le bourrage.

Cette disposition n'a pas donné les résultats qu'on en attendait ; la difficulté de bourrer convenablement a fait qu'en ces endroits la base étant moins solide, les flexions étaient plus fortes : aussi l'emploi des éclisses paraît-il une bonne amélioration.

M. JULES POIRÉE, *ingénieur des ponts et chaussées, invité à assister à la séance*, ne partage pas cette opinion en ce qui regarde le rapprochement des traverses intermédiaires de la traverse de joint. M. Poirée a observé que les traverses ainsi rapprochées donnaient au bout d'une année d'excellents résultats, mais que pour cela il fallait avoir bien soin de relever les traverses et de les bourrer fréquemment, car sans cela il se pro-

duit une oscillation rapide et bientôt destructive des traverses latérales.

Revenant sur la longueur des rails, on dit qu'on peut obtenir des usines des rails de 250 kil., c'est-à-dire des rails de 7 mètres, et qu'il y a tout avantage à les employer; avec des rails de cette longueur on peut obtenir une bonne voie. Cependant, à cette voie ordinaire, on préfère la voie continue, telle que la voie Barlow ou la voie Brunel; mais, pour faire les rails de ces voies, il faut absolument avoir de bonnes qualités de fer.

On trouve, en outre, que le prix des rails est trop élevé par rapport au prix du fer marchand; on peut estimer qu'en général le prix de revient des rails est de 170 fr. la tonne, en moyenne, et toujours on les paie de 40 à 80 0/0 en sus de ces prix, suivant les circonstances.

Un bon système, que doivent employer les compagnies pour arriver à avoir des fers de rails de bonne qualité, consiste à faire des avances de fonds aux maîtres de forges pour monter des usines là où les éléments de la fabrication des rails à bas prix existent. La compagnie des chemins du Midi est entrée dans cette voie, et elle s'en félicite. Inévitablement il faut arriver à fabriquer de bons rails, pour avoir une voie solide: car l'augmentation de prix, pour obtenir une voie stable et durable, est peu élevée en comparaison des dépenses d'établissement du chemin. Il faut aussi que ces rails soient capables de supporter un matériel puissant avec lequel le transport des marchandises se fera sans peine et à bas prix.

SÉANCE DU 21 AVRIL 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. DEGOSÉE a la parole pour donner quelques renseignements sur les sondages.

Il y a vingt-cinq ans, quelques hommes seulement s'occupaient des sondages: c'étaient MM. Stéphane Mony, Eug. Flachet, Mulot et Degosée. MM. Stéphane Mony et Flachet, les premiers, avaient introduit dans l'outillage de l'art du sondeur des perfectionnements considérables.

Depuis, d'autres perfectionnements ont eu lieu, et l'outillage a été bien simplifié. Aujourd'hui on construit des sondes légères à leur partie supérieure et pesantes à la partie inférieure, afin d'avoir un coup plus rigide et d'éviter le fouet des tiges le long des parois du sondage.

Il y a vingt-cinq ans, on se servait de coffres ou de tubes en bois. On leur a substitué des tubes en fer d'abord, réunis par des boulons et écrous, ensuite par des rivets qui, au moyen d'un mandrin, formé de deux pièces coniques, fixé à deux longues tiges, permettent de fixer les manchons aussi bien sur le trou de sonde que dans l'atelier du chaudronnier.

Ils s'enfonçaient autrefois à coups de mouton; il leur arrivait parfois de

se briser et de perdre le forage. Aujourd'hui l'on peut traverser des couches de sable et d'argile de plus de 100 mètres de puissance avec une seule colonne-tuyaux poussée par deux fortes vis de pression.

L'emploi de la sonde dans la construction des travaux publics est récente. Elle a été employée par M. Kermaingant pour descendre des pilots dans les fondations d'un pont qui menaçait de s'écrouler. Ces fondations reposaient sur un béton placé sur une couche de mauvais sol au dessous duquel se trouvait la roche. A l'aide de la sonde, et tout autour des piles, on a fait, au travers du béton, des trous de sonde qui ont perforé la roche de 1 mètre à 1^m.50. Dans ces trous, de 0^m.30 de diamètre, on a introduit des pilots en bois qui ont arrêté tout mouvement.

M. Desfontaines s'est également servi de la sonde pour dessécher une couche d'argile sur laquelle devaient reposer les fondations d'un pont. M. Levallois l'a employée pour l'aérage des galeries de mines, ainsi que pour se débarrasser des eaux stagnantes entre deux couches du sol qu'il devait traverser.

Dans la construction des fortifications de Paris, on s'est trouvé dans la nécessité, pour écouler les eaux, de faire des sondages horizontaux dans les endroits où les fossés qu'on creusait pour les écouler rencontraient sur leur passage des routes auxquelles on ne pouvait pas toucher.

Dans les opérations du drainage, on se sert beaucoup de la sonde de Bernard de Palissy. Dans cette nouvelle voie d'amélioration de l'agriculture, la sonde est appelée à jouer un rôle très important.

Dans la construction des chemins de fer, la sonde rend les plus grands services, soit pour établir les fondations des ouvrages d'art, soit pour la recherche des emprunts, soit pour faire des déblais. Aujourd'hui les ingénieurs, à l'aide de quelques sondages préalables, peuvent à coup sûr établir le prix de revient des fondations d'ouvrages en maçonnerie et des travaux de terrassements.

Ces résultats sont dus surtout à l'emploi d'une sonde construite de façon à retirer du sol, et à tel degré d'avancement du travail que ce soit, ce qu'on appelle des *carottes* ou *témoins*, ayant 0^m.80 de hauteur sur un diamètre de 0^m.20.

Avec cette sonde, le terrain est retiré intact, stratifié, tel qu'il existe. On est donc certain d'établir ainsi la coupe géologique d'un terrain, quel qu'il soit.

Le sondage est en ce moment principalement appliqué à la recherche des gîtes houillers et des mines de sel.

Dans le département du Pas-de-Calais, à la suite de sondages satisfaisants, neuf concessions de mines de houille viennent d'être données ou sont demandées. Dans le département de la Moselle, vis-à-vis le bassin de Saarbruck, où les recherches sont aussi très actives, on a creusé des puits de 250 à 300 mètres de profondeur, et on a trouvé des couches de 3 mètres à 4^m.50 d'épaisseur.

En Angleterre, M. Degousée vient d'être chargé d'un premier sondage important, ayant pour but d'amener les eaux dans un des quartiers de la ville de Londres.

A Naples, il a été également chargé de rechercher des eaux jaillissantes pour alimenter la ville. Les sondages ne sont pas encore terminés; ils ont été poussés jusqu'à 380 mètres de profondeur, et, dans cet endroit, un des puits creusés a donné une veine jaillissante à 12 mètres au dessus du niveau de la mer, mais encore en contre-bas du sol de 10 mètres. C'est pour obtenir une nouvelle nappe que le forage se poursuit. Le terrain traversé se trouvait être du tuf et des cendres volcaniques alternant avec de l'argile.

A Venise, il existe dix belles fontaines d'eaux jaillissantes obtenues par M. Degousée.

Depuis cinq ans, M. Degousée a employé la machine à vapeur pour faire manœuvrer la sonde, mais il ne l'applique avec économie que quand le sondage est à 150 mètres environ de profondeur. Avec une machine à vapeur, on peut battre quarante coups de sonde par minute, tandis qu'à bras, manœuvrant un treuil à engrenage, on ne peut en battre que vingt à vingt-deux.

L'emploi des sondes creuses est aussi une innovation dans l'art du sondage; on l'emploie surtout avec avantage quand on arrive à une profondeur de 500 mètres. Le diamètre de ces sondes commence à 0^m.40 et va jusqu'à 0^m.12; au dessous de ce diamètre, l'outil de sondage ne pourrait plus avoir la force nécessaire pour éviter de se rompre.

L'emploi de la sonde creuse permet de traverser des couches de sable mouvant, quand le trou de sondage n'est pas tubé jusqu'à fond.

M. DEGOUSÉE cite encore un exemple où l'emploi de la sonde a été très utile: c'est dans la construction du pont suspendu de la Roche-Bernard, où les câbles du pont ont été amarrés au rocher. On a ainsi évité des maçonneries dispendieuses, et on a eu toute sécurité sur la solidité du point d'attache.

M. DEGOUSÉE rappelle le fait du glissement du sol sur la glaise au val Fleury pendant la construction du viaduc; il rappelle également que, pour s'opposer à l'affaissement des remblais au pied des talus, M. E. Flachet avait eu l'idée d'encaisser la voie entre des madriers en chêne placés de chaque côté et réunis par des boulons en fer de 12 centimètres de diamètre avec une tête carrée de 0^m.30. L'opération a parfaitement réussi, mais la pression a été telle que les têtes des boulons se sont incrustées de 1 centimètre dans le bois.

UN MEMBRE partage entièrement l'opinion de M. Degousée sur le perfectionnement apporté dans les sondages, et il ajoute qu'on ne saurait trop reconnaître combien ces perfectionnements ont d'utilité pour l'exécution des grands travaux publics.

Les sondages sont indispensables lorsqu'on veut arrêter définitivement le tracé d'une route, d'un canal, d'un chemin de fer, etc., ou l'emplacement d'un grand ouvrage d'art.

La nécessité des sondages est plus impérieuse encore lorsqu'on doit traverser des terrains argileux; il peut arriver, en effet, que la reconnaissance des veines d'argile ayant une certaine inclinaison et pouvant être humectées par des eaux souterraines détermine des changements de tracé.

On a tellement reconnu l'importance des sondages, qu'on en fait maintenant une des conditions des études de tracé définitif de chemin de fer, et

qu'on les multiplie dans toute la longueur des profils en long et dans l'emplacement des principaux ouvrages.

Il y aurait trop à dire si l'on voulait indiquer toutes les avaries occasionnées dans les travaux résultant de la présence des terrains glaiseux, accidents qui n'auraient pas eu lieu si, ayant connu à l'avance la présence des veines qui les ont déterminés, on avait changé l'emplacement des ouvrages ou modifié les conditions de leur établissement.

Le val de Fleury, sur le chemin de fer de Versailles; la tranchée d'Ablon, sur le chemin de fer d'Orléans; les tranchées de Gagny, de Champigneulle, près Nancy, sur la ligne de Strasbourg; la tranchée du Steimberg, sur l'embranchement de Metz, etc., ne peuvent pas laisser de doute à cet égard.

A Ablon et à Champigneulle, force a été de changer l'emplacement de la plate-forme.

Au Steimberg, près Saint-Avoid, la masse en mouvement sur une veine d'argile inclinée qui n'avait pas plus d'un centimètre d'épaisseur était formée de blocs de terre et de rocher en grès des Vosges présentant un cube de 100,000 mètres qu'il a fallu enlever en totalité pour rétablir la plate-forme dans un état normal.

Il dit qu'il est rare qu'on réussisse à arrêter les glissements sur des veines de glaise ayant une certaine inclinaison au moyen de murs de soutènements ou de perrés sur les talus; il cite plusieurs exemples à l'appui de cette assertion.

Le moyen qui paraît le plus efficace pour prévenir et arrêter les glissements quand il n'y a pas de masses trop considérables en mouvement consiste à dessécher le sol en arrière des talus ou des ouvrages d'art, soit au moyen de trous de sondes, soit au moyen de tranchées empierrées, en rapprochant assez les tranchées pour diviser les masses.

Le dessèchement est l'opération la plus essentielle, car ce sont les filets d'eau sur les veines d'argile, ou l'humectation des terrains glaiseux, qui déterminent les glissements ou les éboulements aussi bien dans les tranchées que dans les remblais.

Dans les vallées de la Marne et de l'Oureq, comme dans d'autres vallées où il a été établi des canaux de dérivation à mi-coteaux, des glissements et des éboulements considérables ont eu lieu par suite d'infiltration des eaux de ces canaux dans des terrains qui étaient restés asséchés jusque là.

Des remblais formés avec des argiles se sont affaissés par l'effet d'eau d'inondation ou de surface qui est venue les délayer.

Ainsi, aux abords du pont de Chalifert, sur la Marne, des remblais faits avec des terrains glaiseux provenant d'une tranchée voisine se sont affaissés lors des débordements des eaux de cette rivière. L'affaissement était tel qu'on mesurait un abaissement de 15 millimètres dans la voie de fer à chaque passage de train. On a cherché à remédier à ces effets en employant des sapines placées sous les traverses, et formant ainsi une espèce de châssis; ces sapines ont descendu avec le ballast qu'on ajoutait à chaque passage de train pour niveler la voie. L'affaissement du remblai n'a cessé que lorsque la glaise a été complètement rejetée en dehors.

Un effet à peu près semblable a eu lieu dans la vallée de la Vezouze, à l'est de Lunéville, par suite de l'introduction d'eau de surface dans les terrains de marne irriguée qui composaient le remblai.

On peut déduire de tout ce qui précède que le travail de consolidation des terrains glaiseux peut se résumer ainsi : dessécher et diviser les masses qui peuvent être mises en mouvement.

SÉANCE DU 5 MAI 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur les rails et supports de rails employés dans les chemins de fer.

On rappelle que dans une précédente séance on avait résumé les conditions principales d'une voie qui semblait être dans de bonnes conditions de construction et d'entretien. Depuis, une étude plus complète sur cette matière a fait arrêter les dispositions suivantes pour être appliquées sur une nouvelle ligne.

Ces conditions sont :

1° Le rail sera à simple champignon ; cependant la partie qui reposera dans le coussinet aura assez de largeur pour donner à la voie toute la stabilité qu'on obtient avec le rail à double champignon.

Ce rail aura à sa surface de roulement $64^m/m$, et sur la face d'appui dans le coussinet $50^m/m$; sa hauteur totale sera de 13 centimètres, et l'épaisseur du corps du rail sera de $19^m/m$; il aura 6 mètres de longueur et pèsera $35^k.5$ par mètre courant.

2° Le coussinet de joint sera supprimé et remplacé par deux éclisses en fer de $0^m.50$ de longueur, placées de chaque côté du rail et maintenues par 4 boulons.

3° Il y aura six traverses par rail à égale distance les unes des autres.

Le but principal qu'on a cherché à atteindre a été d'obtenir pour le rail une surface de roulement plus solide, plus durable que celles des rails à double champignon, en reportant dans ce seul champignon une partie de la matière qui entre dans le second. Quant à l'avantage que présentent les rails à double champignon de pouvoir les retourner, cet avantage n'est pas aussi sérieux qu'il semble l'être au premier abord. Beaucoup de chemins qui ont des rails à double champignon les retournent ; mais quand il devient nécessaire de leur faire subir cette opération, leur surface inférieure est déjà bien altérée, et il est à craindre qu'ils ne cassent promptement : c'est inévitablement ce qui doit avoir lieu.

La suppression du coussinet de joint et son remplacement par des éclis-

ses a pour but d'améliorer la voie, en donnant à toute la ligne des rails une rigidité uniforme et constante. Ce système, qui a parfaitement réussi en Angleterre, a donné aussi en France, dans les essais qu'on en a faits, des résultats satisfaisants.

On fait observer que l'Allemagne, qui possède à peu près 10,000 kilomètres de chemins de fer, en a une très faible proportion établis avec rails à deux champignons égaux; la plus grande partie est à large base.

Beaucoup d'expériences ont été faites sur la résistance des rails, entre autres celles exécutées par l'ordre du gouvernement de Prusse pour décider la forme du rail à adopter pour les chemins de l'Est.

On a fait ces expériences 1° sur des rails à double champignon, 2° sur les mêmes rails, mais avec champignon inférieur réduit, et 3° avec les mêmes rails avec champignon inférieur entièrement enlevé. Ces expériences, qui avaient pour but de déterminer la limite d'élasticité et le moment de la rupture, ont donné des résultats entièrement d'accord avec la théorie, qui indique que, pour un même poids de matière, la résistance d'un rail augmente avec la distance de cette matière à l'axe neutre.

Les éclisses sont employées en Allemagne depuis 1847 au moins: elles sont fort usitées, parcequ'elles ont donné de bons résultats; mais les joints avec éclisses ne sont jamais en porte-à-faux; ils reposent toujours sur une traverse.

La forme des éclisses varie beaucoup; elles sont fixées par deux, trois ou quatre boulons. Il y a des éclisses qui sont attachées aux traverses et faites de manière à présenter les deux joues d'un coussinet; quelquefois, ces éclisses sont placées en dedans des coussinets en fonte. L'emploi des éclisses ne peut donner que de bons résultats, et doit avoir l'avantage de rendre la voie uniforme.

Dans un voyage fait récemment en Angleterre, on a observé des lignes de fer sur lesquelles l'emploi des éclisses datait de deux ou trois ans, et nulle part on ne s'est aperçu que les boulons qui les maintenaient manifestassent le moindre jeu, parcequ'il arrive que la tête du boulon se rouille, et que dès lors l'érou ne peut plus se desserrer; il faut seulement avoir soin, lorsqu'une voie nouvelle vient d'être posée, de faire des visites fréquentes; mais, au bout de quelque temps de pluie, cette précaution devient inutile.

Dans la pose des éclisses, on laisse toujours du jeu latéral entre le boulon et le rail, pour permettre la dilatation. Dans ce système, le boulon ne fait que serrer l'une contre l'autre les deux éclisses qui embrassent les deux faces du rail, et c'est dans ce sens que les boulons agissent.

Avec les éclisses, lors même que les traverses sont mauvaises, que la voie est mal bourrée, et qu'il y a des flexions de 1 jusqu'à 2 centimètres entre deux points d'appui, on remarque que cette flexion ne se reporte pas au joint des rails pour tendre à les séparer, et que les voitures qui circulent sur une semblable voie ne sont en rien affectées par cette mauvaise condition. On ne ressent aucune de ces secousses désagréables qu'on éprouve d'ordinaire à chaque coussinet de joint. En Angleterre, avec l'emploi de l'éclisse, les traverses étant écartées de 0^m.90, le plus grand porte-à-faux du rail sur le coussinet est de 0^m.70. Cette dimension n'est du reste pas

absolue ; elle peut varier , pour un même chemin , de 0^m.75 à 0^m.80 , suivant l'état de la voie.

Au chemin de fer du Nord , on doit adopter sept traverses avec des rails de 6 mètres de long.

Un essai , fait au chemin de fer du Nord , des systèmes à éclisses de Samuel Sore , a bien réussi , quoique cet essai ait été fait dans de mauvaises conditions.

Mais ce système est un peu plus cher que le système à éclisses ordinaires.

On fait observer qu'avec ce système de voie à éclisses on obtient une rigidité et une stabilité pareilles à celles d'une voie sur longrines ; mais , dans ce système , l'écartement des traverses , fixé à 1 mètre , est très suffisant avec un bon ballast.

Pour le rail à double champignon , on trouve que , dans bien des circonstances , il est bon de pouvoir retourner un rail , si ce n'est à cause de son usure , au moins à cause de quelques défauts de fabrication qui ne se développent qu'après un certain temps de service. D'ailleurs , cette forme est théoriquement la plus résistante , et , au point de vue de la fabrication , la forme symétrique est une garantie de bonne façon.

Enfin , dans la voie adoptée pour la ligne de Mulhouse , on ne voit pas les motifs qui ont pu conduire à élargir la table de roulement , et à la porter de 60 à 64 millim.

On répond que la forme de rail à simple champignon , bien que n'étant pas aussi résistante théoriquement que celle à doubles champignons égaux , présente cet avantage de reporter l'économie de matière de l'une sur l'autre ; elle permet de renfler le champignon dans son raccord avec la partie verticale , et il est facile de remarquer sur les rails anciens que cette partie du rail , qui fatigue davantage , est plus écrasée qu'elle n'est usée : en sorte qu'il n'est pas rare de voir des lamelles de 60 à 80 centimètres de longueur se détacher du champignon , quand celui-ci a une saillie trop faible et qu'il n'est pas soutenu comme il l'est dans les rails Brunel , Barlow , et comme on a cherché à le faire dans le rail du chemin de ceinture et du chemin de Mulhouse.

Enfin , un motif sérieux pour donner au champignon supérieur une largeur plus grande qu'au champignon inférieur , c'est que ce champignon supérieur s'use , se détériore , et qu'au bout d'un certain temps il a perdu de sa résistance première ; que cette résistance tend à se rapprocher de celle du champignon inférieur , de manière à mettre les deux surfaces en équilibre.

En dernier lieu , la considération qui a conduit à porter de 60 à 64 millim. la largeur de la table de roulement des rails est l'augmentation de résistance , augmentation représentée par le rapport $\frac{70}{62}$.

On appuie les observations sur l'emploi du rail à simple champignon , et on ajoute qu'il faut , dans le service , enlever toute tentation de retourner les rails ; qu'au chemin de fer de Rouen quelques accidents , sans gravité heureusement , ont fait défendre d'une manière absolue de jamais retourner un rail. Quand la table de roulement est usée ou détériorée , on met le rail de côté.

On fait observer, au contraire, qu'il y a un grand avantage à pouvoir retourner les rails. Ainsi, au chemin de fer du Nord, on a des rails qui servent depuis huit ans, et qui, retournés, font encore un très bon service.

Aujourd'hui encore, toute la voie principale du chemin du Nord est en rails de 30 kil.; quelques faibles portions renouvelées sont en rails de 37 kil. Avec les rails de 30 kil., par l'addition d'une cinquième traverse et le remplacement du ballast ancien par un nouveau ballast de bonne qualité, on a aujourd'hui une voie en très bon état. Quant à la quantité de rails retournés, elle est très considérable, et ce travail, fait avec soin, intelligence et discernement, n'a jamais été cause d'aucun accident.

En ajoutant une cinquième traverse à la voie, on a réglé comme il suit l'écartement des traverses : 0^m.75 entre les traverses de joint et les traverses intermédiaires adjacentes, et 1 mètre entre les autres traverses intermédiaires.

Cependant une voie disposée avec les écartements suivants entre les traverses : 0^m.66, 1^m.04, 1^m.10, 1^m.04, 0^m.66, donne encore des résultats plus satisfaisants par sa solidité et sa stabilité.

M. POIRÉE, ingénieur des ponts et chaussées, invité à la séance, revient sur la question de l'écartement des traverses; il dit qu'au chemin de Lyon on s'est bien trouvé de l'adoption des cotes suivantes : 0^m.80 entre la traverse de joint et les traverses intermédiaires adjacentes, et 1^m.13 entre les autres traverses intermédiaires. Quant à la difficulté de bourrer, qui résulte de l'écartement de 0^m.80, elle existe effectivement; mais quand cette opération est faite avec soin, dans les premiers temps du service, le ballast se comprime, et il devient inutile d'y retoucher.

SÉANCE DU 19 MAI 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Jules Danré, membre de la Société, ingénieur civil à Stockholm, vient d'être nommé chevalier de l'ordre royal de Wasa de Suède et chevalier de la Légion-d'Honneur, en récompense de sa coopération à l'exécution de grands travaux publics, et particulièrement à l'établissement des gazomètres.

Il est ensuite donné communication d'une note sur les systèmes de voie et la forme des rails employés en Amérique.

Il résulte des observations consignées dans cette note que, dans l'origine,

on avait employé le système des voies sur longrines, mais qu'aujourd'hui on préfère généralement les voies sur traverses, que l'on substitue maintenant au premier système employé. Cette préférence paraît motivée sur ce qu'on se procure facilement les traverses, et sur ce que l'entretien de la voie est bien plus commode.

Les bois généralement employés pour les traverses sont du chêne, du châtaignier ou tout autre bois dur qui abonde dans les forêts traversées par les lignes de chemins de fer; ils sont du reste employés sans aucune préparation.

On fait observer que dans plusieurs parties de l'Allemagne, et notamment dans le grand-duché de Bade, on remplace aussi les longrines par les traverses; que, dans le Palatinat, le rail américain est employé exclusivement sur traverses, dont l'espacement varie de 0^m.75 à 0^m.95, et qu'on remplace le coussinet de joint par des éclisses.

Eu résumé, le système de voie sur longrines paraît avoir été abandonné en Allemagne et en Amérique, parceque ce système exige dans sa construction beaucoup plus de soins que n'en réclame la pose sur traverses.

UN MEMBRE pense que la question doit être posée au point de vue comparatif des voies à supports continus, des voies à supports discontinus et des voies sans supports.

On répond que le meilleur moyen d'arriver à établir cette comparaison d'une manière judicieuse, c'est de discuter chacun des systèmes, en signalant ses avantages et ses inconvénients.

En n'accordant de préférence à aucun système de voie, on fait observer que chacun d'eux paraît offrir d'excellents résultats dans la pratique; mais qu'il ne faut pas perdre de vue que l'appréciation technique du système de voie à adopter doit être combiné avec les exigences du trafic, et le capital à dépenser pour son établissement. Tout en reconnaissant qu'il est plus difficile de se procurer des longrines que des traverses; qu'en second lieu, l'assèchement de la voie sur longrines est moins parfait que celui de la voie sur traverses, on peut remédier à cet inconvénient en modifiant la forme des longrines et en rompant la continuité de manière à laisser aux eaux pluviales un écoulement facile.

Dans les derniers travaux de ce genre exécutés au chemin de Dôle à Salins, le problème fut posé de la manière suivante :

Emploi de rails de 35 kil. avec supports discontinus, ou bien rails de 30 kil. et supports continus.

On a conclu, par raison d'économie, à l'adoption du second système.

La voie se compose de rails de 6 mètres reposant sur des longrines de 2^m.50 à 2^m.80, intercalées entre des longrines de 2^m.90 à 3^m.10; placées aux joints du rail, les longrines sont reliées au milieu de leur longueur par une traverse.

Les rails sont fixés aux longrines par treize chevilles en bois comprimé.

Les vides entre les abouts de longrines entrent pour 1/15^e environ dans la longueur totale, et la dépense, pour les longueurs et les traverses, est de 4 fr. 72 à 4 fr. 75 par mètre courant.

Les traverses seules eussent coûté le même prix; il y a donc en moins

10 kil. de fer sur les rails, les coussinets et les chevillettes, les coins formant la compensation des chevilles en bois. Quant aux joints, une cale en bois, placée dans l'âme du rail, suffit pour en maintenir les bouts.

On observe qu'on redoute l'influence des chevilles en bois comprimé sur les longrines, et par suite l'altération rapide de ces pièces ; l'expérience seule montrera si ces craintes sont fondées.

On examine ensuite des échantillons de rails Barlow et Brunel employés sur les chemins de fer d'Auteuil et du Midi.

On a appliqué le rail Brunel sur le chemin de fer d'Auteuil ; le rail Barlow sera employé d'une manière générale sur le chemin de Bordeaux à Cette.

Sur la ligne de Bordeaux à Bayonne on a donné la préférence au rail Brunel, le bois des Landes ne revenant qu'à 20 fr. le stère, ou à 26 fr. en ajoutant le prix de la préparation ; il y avait donc économie notable à employer dans ce cas le système de voie sur longrines.

Passant ensuite à la question relative à la déformation des rails Barlow, on indique qu'au chemin de fer de Saint-Germain, sur une partie de la voie où ce rail a été posé depuis dix-huit mois, on n'a remarqué aucun écrasement de rail, ni aucune autre déformation du rail ou de la voie.

On dit qu'au chemin de fer du Nord on a posé, en janvier 1853, 170 mètres de voie Barlow sur une partie de la voie principale où le mouvement est le plus considérable, c'est-à-dire entre Paris et la Chapelle. Actuellement dix de ces rails sont avariés par suite de l'écrasement ; mais il faut dire que cette altération paraît provenir de la qualité du fer, qui est très doux. Cet inconvénient disparaîtra probablement avec les difficultés que paraît présenter encore le laminage de fers plus résistants.

L'altération de la surface de roulement étant la seule déformation qu'on ait remarquée, on peut en déduire que les conditions d'établissement sont bonnes.

On demande si l'on n'a pas à redouter l'inégalité du tassement, surtout dans les parties de voie en remblai, où l'accotement est moins résistant que le noyau de la plate-forme, et par suite le renversement du rail extérieur ainsi que l'élargissement de la voie dans les intervalles entre les points où les rails sont reliés ensemble par les barres en fer à cornière.

Sur le chemin de fer de Strasbourg, l'emploi de plateaux-coussinets en fonte, réunis par des tringles en fer, a donné lieu à des déformations telles, que des déraillements auraient eu lieu inévitablement si l'on n'avait pas apporté certaines modifications importantes.

On répond que la rigidité du rail Barlow paraît remédier à cet inconvénient ; toutefois on signale l'addition de traverses en bois sous les rails comme un perfectionnement notable apporté récemment dans la construction de la voie Barlow.

Au reproche fondé de la prompte détérioration des bois dans le système de voie sur traverses, on oppose son élasticité, si favorable à l'entretien de la voie et à la conservation du matériel. Depuis sa condition nouvelle, le système de voie Barlow doit présenter à la fois résistance et élasticité.

On fait observer que la répartition du métal dans le rail Barlow laisse à

désirer au point de vue des efforts auxquels un rail est soumis ; on lui préfère de beaucoup le rail Barberot, dont la section, affectant la forme d'une croix, doit résister parfaitement à la charge et au mouvement de lacet, le plateau horizontal présentant aussi l'avantage de relier facilement les rails entre eux. Les difficultés de fabrication de ce rail ne paraissent pas une objection assez sérieuse pour qu'on doive s'y arrêter.

UN MEMBRE, résumant ce qui vient d'être dit et faisant remarquer que les ingénieurs qui s'occupent de l'établissement des voies de fer cherchent tous encore une bonne solution pour éviter les inconvénients de la solution de continuité dans les rails, pense que sur une plate-forme mieux assise, où les tassements ne sont plus à redouter, et lorsque la surface du ballast est assez comprimée pour permettre l'écoulement des eaux pluviales à la surface, la voie Barlow doit présenter les conditions les plus favorables, et qu'il doit en résulter une diminution considérable dans la dépense d'entretien.

Il rappelle que les ingénieurs allemands ont été conduits à substituer les traverses aux longrines, parceque le bourrage est plus difficile à faire avec une voie posée sur longrines et qu'il en résulte de l'irrégularité dans l'inclinaison des voies et un entretien moins facile.

Dans le système de voie posée sur traverses, on est arrivé à remplacer les coussinets de joint par des éclisses pour rendre les rails en quelque sorte continus.

On indique plusieurs combinaisons essayées sur le chemin du Nord, entre autres un système mixte composé de traverses intermédiaires et de la traverse de joint coupée en deux parties placées en longrines sous les joints des rails. Malgré le rapprochement considérable des supports, cette voie, manquant d'homogénéité, a éprouvé une rapide altération, et il a fallu y renoncer.

On demande si, en Angleterre, les rails sont rivés d'une manière absolue comme on l'a fait dernièrement sur le chemin de fer d'Auteuil, de manière à ne laisser aucun jeu possible pour la dilatation.

On répond que généralement on laisse un espace entre les rails pour leur libre dilatation ; les variations dans la longueur des rails sont très sensibles avec des différences de température atteignant jusqu'à 60 degrés centigrades.

Dans le système de voie à supports discontinus, cet intervalle varie de 0^m.002 à 0^m.003, selon la longueur des rails ; avec l'emploi des éclisses, on ménage aussi les effets de la dilatation en donnant au trou des boulons une forme ovale dans le sens longitudinal, car il peut arriver avec des rails disposés de manière à présenter une continuité absolue que les effets de la dilatation ne finissent par faire sauter les rivets.

SÉANCE DU 16 JUIN 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

L'ordre du jour appelle l'exposé du trésorier sur la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU, trésorier, constate que le nombre des membres de la Société était, au 16 décembre 1853, de	325
Dont il faut déduire un membre décédé.	1
Total des membres anciens	324
Membres nouveaux admis pendant le premier semestre . .	20
Total des sociétaires au 16 juin 1854.	344

Au 16 décembre 1853, le solde en caisse était de . . .	2,852 35
Les versements effectués pendant ce semestre se sont élevés à	5,639 »
Total.	8,491 35
Les dépenses du premier semestre se sont élevées à. . .	4,696 20
Solde en caisse au 16 juin 1854.	3,795 15

L'ordre du jour appelle la communication par M. Faure d'une note sur le drainage.

Sur l'invitation de M. le président, M. Faure a préparé quelques notes sur les questions du *drainage* en ce qui touche l'assèchement des terrains humides : c'est ce qu'on peut appeler le *drainage agricole*.

Le *drainage* est, sans contestation, l'opération agricole qui produit l'amélioration la plus permanente du sol ; il augmente la production, et améliore les produits ; il réchauffe les terres froides en les ameublissant ; il convertit en terres arables ou en prés de bonne nature les terrains marécageux.

L'insuffisance des récoltes, en Angleterre comme en France, a principale-

ment conduit à s'occuper de cette question, et depuis quelques années la France s'en est occupée d'une manière toute particulière.

Plusieurs publications ont été faites sur ce sujet. M. Faure a fait paraître, il y a trois ans, un livre qui était une traduction du Manuel de M. Stephens ; et depuis, MM. Mangon, Barral, et Leclerc, ingénieur belge, ont publié chacun des livres qui sont du plus haut intérêt.

Nous allons mettre tout d'abord des chiffres sous les yeux, afin de faire apprécier l'importance du sujet.

D'après M. Barral, la France comprend une superficie de 52 millions d'hectares ; les terrains qui, par leur nature, sont susceptibles d'être drainés, représentent une superficie de 34 millions 112 d'hectares (34,542,000).

Or, sur les 52 millions d'hectares qui forment la totalité du sol français, 30 millions sont en terres labourables, et près de 22 millions sont en bois, vignes, landes, rivières, etc. Si l'on retranche des. 34,542,000
ces. 22,000,000

il reste au moins. 12,542,000
hectares, qui ont un besoin absolu d'être soumis à l'opération du drainage, soit 23 0/10 du sol de la France.

M. Mangon, de son côté, évalue à plus de 7 millions d'hectares la quantité de terres susceptibles d'être drainées. Quoi qu'il en soit, si l'on estime que l'hectare coûte en moyenne une somme de 200 fr. à 250 fr. pour être drainé, la dépense totale pour une superficie de 12 millions d'hectares sera à peu près de 2 milliards et demi à 3 milliards, somme énorme, mais somme certainement qui serait admirablement employée, puisqu'elle réaliserait une amélioration permanente de la production alimentaire de notre pays.

Le drainage peut être appliqué avec succès :

1° A tout terrain ayant un sous-sol imperméable ;

2° A tout terrain argileux.

M. Belgrand, ingénieur des ponts et chaussées, dans son Traité d'hydrologie du bassin de la Seine, rapporte qu'en amont de Paris la superficie totale du sol imperméable est de 1,874,000 hectares, ou environ 43 0/10 de la superficie totale.

M. Barral cite encore les exemples suivants : la surface de sol imperméable est, dans le département de la Meuse, de 250,000 hectares ; dans celui de la Moselle, de. 180,000 id.
dans l'arrondissement d'Avallon. 18,775 id.

Voilà donc là la source de capitaux immenses à dépenser et de la façon la plus profitable et en travaux qui exigent le concours de l'ingénieur : c'est donc une carrière toute nouvelle qui s'ouvre au *génie civil*, qu'on appellera dans ce cas, si l'on veut, le *génie rural*.

Nous avons parlé, au commencement, de la somme de 2 à 3 milliards à appliquer à cette opération du drainage. Cette somme est énorme, en effet ; mais elle n'est pas à trouver immédiatement, et du reste, en voyant ce qui a été fait chez nos voisins, nous trouverons facilement une solution à cette question.

En Angleterre, c'est le gouvernement qui, le premier, a avancé aux pro-

priétaires les fonds nécessaires pour ces travaux. Jusqu'à ce jour, il a employé, dit M. Mangon, une somme de 181 millions de francs.

Mais, avant de s'engager dans une avance, le gouvernement anglais prend ses précautions; il a nommé une commission composée d'hommes choisis, à laquelle il a en quelque sorte donné pleins pouvoirs. Cette commission représente le gouvernement et écarte toute lenteur administrative; c'est à elle que les demandes de prêt doivent être directement adressées.

Les prêts ne sont faits que dans les conditions suivantes : 1° Il faut qu'il soit bien établi que les travaux d'amélioration qui vont être entrepris feront produire au sol un intérêt d'au moins 6 1/2 0/0 de la somme dépensée. L'appréciation de ce produit est établie après examen du sol et des localités par des ingénieurs attachés à la Commission.

2° Le remboursement doit avoir lieu en vingt-deux ans, par annuités calculées à raison de 6 1/2 0/0 du montant du prêt.

3° En général, l'Etat n'avance qu'une somme égale au tiers de la somme totale qui est à dépenser, en sorte que les 180 millions avancés par le trésor public représentent au moins 600 millions de francs dépensés pour l'amélioration du sol par le drainage; et cet argent, comme on l'a vu, est bien placé. Quant à des pertes, des non-valeurs, il est curieux et intéressant de le faire remarquer, il n'y en a pas encore eu, que nous sachions. Voici ce que dit M. Mangon à cet égard :

« On estime en Angleterre que les travaux de drainage bien dirigés et appliqués à propos rapportent au moins 10 0/0 des sommes engagées. Les bénéfiques s'élèvent souvent jusqu'à 15 ou 20 0/0, et l'on peut citer un nombre de travaux de drainage payés par une seule récolte.

« Les résultats des travaux exécutés en France et en Belgique n'ont pas été moins favorables que ceux obtenus en Angleterre. »

Maintenant, pour engager le crédit privé à concourir à la dépense des deux autres tiers qui restaient à fournir, le gouvernement anglais a accordé aux particuliers la faculté de se substituer au trésor public dans le mode de remboursement des avances.

Le système adopté pour encourager le drainage pourrait être l'affectation d'une somme limitée se reproduisant d'année en année et employée en quelque sorte indéfiniment aux améliorations agricoles. M. Mangon indique cette idée féconde, qu'il a développée dans un très intéressant travail sur les irrigations de la Campine.

En France, l'un ou l'autre de ces systèmes serait très praticable; il y en a d'autres encore qui, s'ils étaient bien organisés, donneraient de bons résultats : ainsi la création d'un syndicat entre propriétaires, en même temps que la création de compagnies agricoles, serait une très utile combinaison.

Une compagnie considérable vient de s'organiser en France; elle a confié la direction de ses travaux à M. Mangon. Espérons qu'elle dotera le pays d'utiles et fructueux travaux, et que ses succès détermineront la formation de compagnies similaires.

Mais pour faire pénétrer dans les masses cette nécessité du drainage, il faut l'enseigner et l'enseigner sous toutes les formes. La somme de 85,000 francs que la France y a consacrée, pour l'achat de matériaux divers desti-

nés au drainage, a commencé à le vulgariser. C'est peu, mais c'est déjà quelque chose.

Nous avons parlé de l'Angleterre; il convient aussi de dire quelques mots sur la Belgique, ce pays si industrieux dans tout ce qui tient au développement de sa production.

En 1849, le gouvernement Belge a commencé à s'occuper d'une manière active du drainage; il a envoyé un ingénieur en Angleterre pour étudier la question. A son retour, après un séjour de cinq mois, il fut attaché à la division de l'agriculture et mis en quelque sorte à la disposition des propriétaires, des cultivateurs, pour diriger les opérations du drainage. En outre, le gouvernement fit publier un manuel du drainage; il fit construire les appareils spéciaux à ce travail; il fit établir les machines à faire les tuyaux; il les distribua gratuitement en imposant aux cessionnaires d'en vendre les produits à des prix modérés.

Un arrêté ministériel invita en même temps les comités et les sociétés agricoles à faire des essais sur le drainage, et en faisant cette invitation, l'État accordait le concours gratuit de ses agents pour diriger les travaux, des tuyaux pour des surfaces de demi-hectares, et, en outre, il mettait temporairement à leur disposition les machines et les instruments qu'il avait fait construire comme modèles.

Ces efforts ont produit de bons résultats, car, en 1850, 150 hectares seulement avaient été l'objet de l'application du drainage; en 1851, ce chiffre s'est élevé à 600, et en 1853 à 1,500. Par cette progression rapide d'ascension, on peut estimer que le drainage s'est acclimaté en Belgique et qu'il n'est déjà plus à l'état d'essai, mais à l'état de pratique.

En France, les premiers essais de drainage datent de l'année 1845. Le gouvernement français a employé les 85,000 fr. dont nous avons déjà parlé à l'achat de machines, à faire des tuyaux et des outils de drainage qu'il a répartis dans 51 départements. Cette somme était entièrement dépensée à la fin de 1853.

De leur côté, les propriétaires ont été en avant, et si les résultats que nous avons à citer ne donnent pas encore pour capital employé un chiffre élevé, les exemples sont cependant nombreux. Ainsi, nous citerons parmi les propriétaires qui ont fait des essais de drainage: dans le département de l'Aisne, M. Rouget, sur 80 hectares; dans le Cher, M. Lupin, 100 hectares; dans la Mayenne, M. Bordillon, 150 hectares, dont les eaux de drainage ont été en outre appliquées à l'irrigation.

Dans le département de Seine-et-Marne, nous citerons M. Gareau, M. Lauret, qui s'est fait entrepreneur de drainage et qui y réussit à merveille.

Dans le département de Seine-et-Oise, on remarque les opérations de drainage du camp et du champ de manœuvre de Satory, dont la superficie est de 260 hectares, entrepris par la compagnie générale du drainage et des irrigations au prix de 160 fr. l'hectare. Cette compagnie a entrepris également beaucoup d'opérations dans le département du Nord; elle y a déjà établi ses opérations sur un pied considérable: elle achète les terrains, les loue, ou entreprend le drainage à forfait.

En résumé, on trouve que déjà, en France, 31 départements se sont occupés d'une manière sérieuse du drainage. Nul doute que les encouragements donnés à l'agriculture par le gouvernement ne développent rapidement ces essais.

M. FAURE revient sur ce point, qu'on ne saurait trop apporter dans l'esprit des masses des idées nettes et précises sur l'influence heureuse que peut exercer en France l'application du drainage à l'agriculture. Il pense que les quelques résultats satisfaisants puisés chez nous et chez nos voisins, et que les chiffres éloquents qu'il vient de présenter sur son avenir en France, sont de nature à intéresser vivement la Société des ingénieurs civils; et s'il a réussi dans le but qu'il s'est proposé, il lui restera, pour compléter ce qu'il a à dire sur ce sujet, à définir le drainage, ses opérations, les études préliminaires, les soins d'exécution et la description des machines et appareils qu'il utilise. — Ce sont ces différentes questions que M. Faure se propose de traiter dans la prochaine séance.

On demande à M. Faure, puisqu'il veut bien s'occuper de cette question du drainage, d'établir, s'il est possible, une comparaison entre les divers matériaux qu'on pourrait appliquer à la construction des drains, et de dire si, dans les localités où la pierre, le moellon, sont en abondance, ces matériaux ne seraient pas d'un usage plus économique que les tuyaux en terre.

M. FAURE répond que l'expérience a déjà été faite, et que les drains en pierre s'encrassent assez promptement et ne fonctionnent que peu de temps; en outre le prix de revient des drains à empierrement est généralement plus élevé que celui des drains à tuyaux jointifs.

Il est ensuite donné lecture d'une note de M. Mirecki sur l'emploi des longrines pour remplacer les traverses de joint sur le chemin de fer du Nord.

Le système qui a le mieux réussi pour des rails de 4^m.50 est celui-ci: sur des longrines de 4^m.60, on a fait clouer trois coussinets, dont un coussinet de joint et deux coussinets intermédiaires placés à 0^m.50 de distance à droite et à gauche du premier; on a conservé trois traverses intermédiaires, mais en les déplaçant de la position qu'elles occupaient, de façon à les changer de lit en quelque sorte. L'intervalle entre la traverse du milieu et celles qui sont placées à ses côtés a été mis de 0^m.90; par conséquent, les coussinets de ces dernières se sont trouvés à une distance de 0^m.85 des coussinets intermédiaires cloués sur longrines. Cette pose a donné de bons résultats, que l'on peut attribuer à l'augmentation des points d'appui, à leur distribution rationnelle, et principalement au déplacement de toutes les traverses: d'où il suit que le ballast sur lequel il s'est établi à nouveau, n'ayant pas encore été comprimé et étant de même nature, avait partout la même élasticité sous les points d'appui.

M. MIRECKI pense que des longrines de 4^m.80 seraient préférables à des longrines de 4^m.60, parcequ'elles donneraient plus de distance entre l'about de la longrine et le premier coussinet.

SÉANCE DU 7 JUILLET 1854.

Présidence de M. Ch. CALLON, vice-président.

L'ordre du jour appelle la suite de la communication de M. Faure sur le drainage agricole.

M. FAURE, après avoir rappelé que cette communication n'est autre chose qu'une analyse rapide des publications qui ont été faites sur cet important sujet, et notamment des traités récemment publiés par MM. Mangon, Barral et Lecler, définit le drainage. Il esquisse rapidement l'historique de ce mode d'amélioration du sol, et fait voir que, si son origine peut être rapportée à des temps très reculés, que si même les rigoles couvertes, pour l'assainissement des terrains humides, sont pratiquées dans plusieurs parties de la France notamment, depuis un temps immémorial, il n'en est pas moins juste de dire qu'à la Grande-Bretagne revient l'honneur d'avoir généralisé et systématisé la méthode, en la rendant possible et abordable pour tous par l'introduction des conduits en poterie. Toutefois, il cite d'intéressants documents publiés par M. Barral, et desquels il résulte qu'Olivier de Serres, avant l'Anglais W. Bligh, a préconisé l'emploi des rigoles couvertes, et que l'application des conduits en poterie à ces rigoles a eu lieu avant 1620 dans un jardin des moines oratoriens à Maubeuge. M. Faure rend un juste hommage aux constants efforts de M. Dumas pour propager en France l'application du drainage, soit dès l'année 1847, soit comme président de la Société d'encouragement, soit comme ministre de l'agriculture, en 1849 et en 1850.

M. FAURE s'attache à faire bien comprendre les effets de l'eau stagnante dans le sol. Il distingue donc entre le rôle utile de l'eau dans la végétation et le rôle désastreux de ce même agent lorsqu'il reste à l'état de stagnation dans la portion du sol utile à la croissance des végétaux. Il insiste sur les différences essentielles qui existent entre le sol à l'état de *moiteur fraîche* et le sol *mouillé* ou saturé d'eau.

Lorsque dans un sol *mouillé* on établit à une profondeur donnée un réseau de conduits communicants et dont les diverses lignes sont composées de tuyaux jointifs, avec pente suffisante pour l'écoulement vers une issue commune, l'eau en excès, devenant libre d'obéir aux lois de la pesanteur, s'écoule pendant que l'eau utile à la végétation, engagée dans les pores du sol, y reste à l'état latent, pour ainsi dire, retenue par une action capillaire des plus énergiques; le sol alors, sur l'épaisseur qui sépare la

surface du plan d'eau, ou mieux de la surface de stagnation, devient perméable à l'air et au gaz, tandis que l'eau en excès, filtrant à travers les interstices ou conduits sinueux qui s'établissent progressivement dans la masse, abandonne aux racines des végétaux les éléments nutritifs, gazeux ou solides qu'elle a absorbés et dissous.

M. FAURE énumère ensuite rapidement les inconvénients nombreux et divers qui résultent d'un excès permanent d'humidité dans le sol, soit dans les terrains marécageux par la présence des eaux de source, soit dans les terrains *rétentifs*, au point de vue de la culture, rendue plus difficile ou même impossible, de la végétation des plantes utiles gênées ou malades, et de la maturité retardée. Il insiste sur l'abaissement de température produit dans la masse du sol par l'eau stagnante, en citant les chiffres empruntés aux beaux travaux de M. Parkes, et desquels il résulte que la chaleur perdue par un hectare de terrain rétentif, dans une année, équivaut sensiblement à celle que produirait la combustion de 730 kil. de houille par jour et par hectare. Cela explique comment les terres fortes ou argileuses sont froides au printemps et après les pluies d'été, alors que l'évaporation est la plus active. Le refroidissement des sols rétentifs est encore considérablement accru par la conductibilité de l'eau stagnante et par le rayonnement; les pluies d'été elles-mêmes cessent d'être bienfaisantes dans ces sortes de terrains. Les expériences du docteur Madden, et surtout celles de M. Parkes, conduisent à reconnaître que, pour soustraire le sol actif aux causes diverses de refroidissement dues à l'eau stagnante, il faut abaisser la nappe d'eau stagnante à une profondeur minime de 0^m.625.

M. FAURE aborde l'examen théorique du mode d'action des saignées souterraines dans le *drainage complet*, tel qu'il est pratiqué aujourd'hui. Il fait voir comment, par suite du frottement, de l'adhérence et des efforts de capillarité, l'eau, même alors qu'elle vient se rendre dans les conduits de deux drains parallèles, s'établit dans l'espace compris entre les deux saignées, suivant deux plans inclinés adossés, dans l'hypothèse d'un sol homogène, ou suivant une courbe qui tourne sa convexité vers la surface, dans le cas de terrains stratifiés, dont la capacité va en croissant de la surface jusqu'au niveau inférieur des drains. Il emprunte à M. Lecler des chiffres intéressants et des conclusions importantes déduites de ces considérations.

Elles mettent d'ailleurs en lumière et rendent pour ainsi dire évidents les effets du drainage au point de vue de l'ameublissement du sol.

M. FAURE explique ensuite les modifications qui doivent se produire, d'une manière permanente et presque indéfiniment progressive, dans les sols compactes, après le drainage. Ces modifications résultent surtout du fendillement de la masse, qui, en se produisant, constitue une multitude de petits canaux communiquants, capillaires les uns, non capillaires les autres, partant de haut en bas d'abord, puis de bas en haut, pour se rejoindre enfin et constituer ce *réseau de perméabilité* si utile, comme on l'a vu.

Abordant enfin l'étude d'un projet de drainage complet et méthodique, M. Faure, d'après M. Lecler, adopte la division suivante :

- 1^o Position des drains relativement à l'inclinaison propre de la surface ;
- 2^o Profondeur des drains ;

- 3° Leur espacement ;
- 4° Forme des conduits de drains et matériaux qui les composent ;
- 5° Pente et dimensions des drains ;
- 6° Leur longueur.

Il examine et traite successivement les quatre premiers sujets compris dans ce cadre.

SÉANCE DU 4 AOUT 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. FAURE reprend la suite de sa communication sur le drainage agricole. Il développe d'abord les considérations qui peuvent servir à déterminer la *position des drains* dans une étude de drainage, après avoir expliqué comment il convient de diviser les drains d'un même projet en *drains d'assèchement* et *drains collecteurs*.

Il fait voir que, pour relever le plan du sol à drainer, il convient surtout de recourir à la méthode des *plans cotés*, à sections horizontales, parallèles. Le plan ainsi conçu et rédigé donne immédiatement les lignes de thalweg de la surface polyédrique ou du relief du sol, que l'on peut alors diviser en un certain nombre de plans divers et contigus, ayant chacun une inclinaison distincte. La ligne de plus grande pente de chacun de ces plans détermine la direction des séries diverses de drains d'assèchement parallèles. Pour motiver cette direction, M. Faure établit d'abord que les drains tracés suivant la ligne de plus grande pente doivent, pour une même longueur développée, assécher une superficie bien plus considérable ; il fait remarquer ensuite que la direction générale des fissures qui s'établissent dans un terrain argileux dont les eaux peuvent trouver un libre écoulement est transversale à la pente du terrain.

Il renvoie, pour l'intelligence complète des considérations qu'il vient d'indiquer, aux spécimens nombreux contenus dans les ouvrages déjà cités.

Les drains collecteurs, dans lesquels débouchent les drains d'assèchement, dont ils recueillent le débit, doivent, par leur nature même, occuper toutes les parties du terrain vers lesquelles les eaux sont amenées par les faisceaux divers des saignées d'assèchement : c'est dire qu'ils suivront les lignes de thalweg suivant lesquelles le terrain à drainer a été divisé. Il est d'ailleurs presque toujours facile de procurer à chaque collecteur une pente suffisante pour l'écoulement, en le plaçant au besoin dans une direction un peu oblique par rapport au plan particulier dont il doit recevoir les eaux.

Abordant les considérations qui permettent de fixer la *profondeur des drains*, M. Faure insiste sur l'importance capitale de ce point de l'étude

d'un projet de drainage. Il a été l'objet d'une polémique longue et sérieuse, qui s'est traduite en deux systèmes trop tranchés, trop exclusifs peut-être l'un et l'autre. D'une part, M. Smith de Deanston et ses partisans préconisaient une profondeur constante de 0^m.75, combinée avec un faible écartement des saignées parallèles; d'autre part, M. Parkes fixait *a priori* une profondeur de 1^m.21, correspondante à des drains d'assèchement beaucoup plus écartés les uns des autres.

Mais, sans s'arrêter à des chiffres absolus et que rien ne justifie *a priori*, il est facile de reconnaître, en se rapportant aux considérations précédemment développées, que l'assainissement sera d'autant plus complet que le plan d'eau stagnante aura été plus abaissé; lorsqu'on se rapporte d'ailleurs aux chiffres donnés par M. Lecler sur l'exhaussement du plan d'eau dû à la seule capillarité, on reconnaît que la profondeur de 0^m.75, jadis fixée par M. Smith et ses disciples, ne saurait répondre à un drainage complet, quelque rapprochées que puissent être les saignées parallèles d'un même plan ou d'une même division de drains.

Les avantages du drainage profond sont, en outre, faciles à motiver, si l'on se rappelle la forme affectée par le plan d'eau stagnante après le drainage. On voit alors que les deux nappes inclinées et adossées comprises entre deux drains parallèles et voisins correspondront à un espacement d'autant plus considérable des deux drains parallèles, que chacun d'eux sera plus profond.

Ainsi, plus le drainage sera profond, moins grande sera la longueur développée des saignées parallèles composant une même division, pour un même effet produit, c'est-à-dire pour un même abaissement du point culminant des deux plans d'eau à inclinaison égale et inverse compris entre deux saignées voisines.

Mais le drainage profond (système Parkes) sera non seulement *plus économique* que le drainage superficiel (système Smith), il sera encore et nécessairement *plus efficace*, parceque pour un même abaissement du plan d'eau stagnante il écoulera une quantité d'eau plus considérable dans un même temps. Ce fait, démontré expérimentalement, s'explique par cette considération que le réseau des fissures et crevasses, déterminé par la dessiccation dans la profondeur du sol drainé, est d'autant plus multiple, plus intense, que le volume de terre asséché est lui-même plus considérable.

M. Faure emprunte enfin à M. Lecler le mode suivant, qui semble très rationnel pour déterminer le minimum de profondeur des drains :

Abaissement voulu de la couche stagnante, en contre-bas de la surface	0 ^m .700
Pente par mètre du plan d'eau à 0 ^m .03 et sur une largeur de 7 ^m .50, correspondant à un espacement de 15 ^m .0 ^m .225 : d'où,	
pour une surélévation moyenne due à la résistance de frottement.	0 .112
Relèvement du plan d'eau dû à la capillarité propre du sol. . .	0 .400
	<hr/>
	1 ^m .212

Ainsi, le raisonnement basé sur les circonstances qui se produisent dans

les terrains de compacité moyenne conduit à une remarquable concordance avec le chiffre qui a servi de base aux adhérents de M. Parkes.

La profondeur des drains doit varier d'ailleurs avec la nature des terrains, et la donnée 0^m.40, relative à la capillarité, varie sensiblement de la manière suivante, d'après M. Lecler :

Sables siliceux à gros grains.	0 ^m .40
Sables fins.	0 .60
Argiles.	0 ^m .45 à 0 .75
Tourbes, terrains mous et spongieux.	1 .71 à 2 .00

On peut donc, d'une manière générale, fixer ainsi la profondeur des drains :

Profondeur des drains dans les terrains :

Sablonneux	1 ^m .21 à 1 ^m .46
Argileux	1 .26 à 1 .56
Tourbeux.	1 .71 à 2 .00

M. de Cauville, l'un des agriculteurs français qui ont appliqué le drainage avec le plus d'intelligence, recommande avec une insistance toute particulière les drains profonds ; et il fait voir, par des chiffres et des résultats empruntés à ses expériences, faites sur une échelle très importante, que l'on obtient à la fois économie sérieuse de capitaux et augmentation des effets produits, en poussant à la limite du possible la profondeur des drains, tout en reculant proportionnellement leur espacement relatif.

La profondeur des drains collecteurs doit excéder de 0^m.05 à 0^m.08 celle des drains d'assèchement dont ils recueillent le produit.

M. FAURE rappelle la loi récemment promulguée sur l'écoulement des eaux de drainage. Il en signale l'importance en faisant voir comment elle permet, même dans les pays où la propriété est le plus morcelée, de concevoir et d'exécuter le drainage des champs les plus resserrés. Il indique comment l'établissement des syndicats de propriétaires pourrait rendre des services importants, surtout en ce qui se rapporte à l'écoulement des eaux, soit par voie naturelle, soit par puits absorbant, soit même et au besoin par la création à frais communs d'un réservoir spécial et de machines élévatoires destinées à élever les eaux recueillies, pour les utiliser ensuite soit comme force motrice, soit comme agent d'irrigation.

L'écartement ou l'espacement des drains est, comme on l'a vu, intimement lié à leur profondeur, et dépend, comme celle-ci, de la nature du terrain qu'il s'agit d'assécher. L'expérience seule peut fournir une règle à cet égard. Voici les résultats qu'elle paraît indiquer :

Pour une profondeur de 1^m.21.

	Ecartement.
Sable pur à gros grains.	16 ^m .00 à 18 ^m .00
Sable ferrugineux.	13 .00 à 15 .00

Argile ordinaire	9 ^m .00 à 11 ^m .00
Terrain tourbeux.	11 .00 à 14 .00
Terrain crayeux.	8 .00 à 11 .00

L'établissement des *conduits des drains*, les divers modes usités, leurs avantages ou leurs inconvénients respectifs, sont ensuite rapidement indiqués par M. Faure. Disant quelques mots des drains en *coulée de taupe*, de ceux avec conduits en terre ou en gazon, des drains à épaulement, de ceux dont le conduit est obtenu au moyen de mandrins en bois, il fait voir que ces modes divers ne sont applicables, en général, qu'à des sols d'une nature particulière, d'une homogénéité presque complète, qu'ils sont d'ailleurs peu durables. L'établissement de ce genre de drains coûte jusqu'à 0 fr. 15 le mètre courant pour une profondeur de 1^m.00 environ, et la dépense par hectare varie de 170 fr. à 300 fr.

Il donne quelques détails sur les *drains à conduits en tourbe*, composés de deux pièces découpées dans la tourbe avec un outil de forme particulière, exposées à l'air et à une dessiccation lente; sur les drains remplis avec de la paille, des fascines, des fagots ou bourrées, ou des perches. Ces divers matériaux se pourrissent d'ailleurs assez rapidement, les obstructions sont fréquentes, le travail des taupes y est très actif.

Une opération de drainage doit satisfaire avant tout à des conditions de durée et de permanence incompatibles avec les divers modes dont il vient d'être question, et cette remarque suffit pour faire comprendre qu'une économie apparente ne doit pas conduire à préférer les divers systèmes à ceux qui, bien que plus coûteux, offrent des chances de durée et de fonctionnement régulier.

Les *drains avec conduits en pierraille* sont bien préférables, et ils peuvent être appliqués dans les localités riches en cailloux. On distingue les *drains à empièrrement* ou à *pierres perdues*, les drains avec conduits en *plaquettes*. La tranchée, dont la largeur au fond est de 0^m.18 environ, est remblayée avec les matériaux d'empièrrement sur une hauteur de 0^m.30 à 0^m.40. Les obstructions s'y produisent facilement, surtout quand les eaux sont ferrugineuses ou calcaires; les pierres s'encrassent, la résistance au mouvement de l'eau est considérable, et, par conséquent, la pente du fond doit être relativement plus grande. En Angleterre, le prix de revient des *drains empièrés*, exigeant 0^{me}.007500 de pierraille par mètre courant, est de 0^f.21 à 0^f.30. C'est dire que ce système est généralement très coûteux.

Après avoir donné quelques indications sur les drains avec conduits en briques ordinaires, ou en briques de formes spéciales, M. Faure s'occupe des drains avec conduits composés de *tuiles et semelles* fabriquées à la machine. Depuis vingt-cinq ans, le prix de ces tuiles de drains s'est abaissé de 112 fr. 50 le mille à 37 fr. 50, prix actuel. Ce genre de conduits, lorsque la pose a été faite avec soin, est durable et satisfaisant; mais il n'a plus de raison d'être, pour ainsi dire, depuis l'introduction des *conduits en tuyaux jointifs*.

L'usage des tuyaux dans l'établissement des conduits de drains remonte à

1808, et M. John Read a l'honneur d'avoir le premier proposé et réalisé cette immense et féconde amélioration. Sans qu'il soit besoin de décrire les formes nombreuses et diverses qui ont été proposées et appliquées, il suffit de dire que la forme circulaire est, sans contredit, la meilleure, la plus économique, la plus rationnelle. M. Parkes a démontré par des calculs suffisamment rigoureux qu'une ouverture de 0^m.025 est très généralement suffisante pour les conduits des drains d'assèchement. Ainsi, admettant des drains espacés de 20 mètres, des tuyaux de 0^m.025 de diamètre intérieur, 0^m.30 de longueur, si l'on se propose de faire écouler en 48 heures (durée expérimentale) la quantité d'eau correspondante à une très forte pluie de 12 heures (soit une hauteur d'eau de 0^m.01), on reconnaît que chaque joint devra livrer passage à 60 litres d'eau ou à 1^l.25 par heure. L'épaisseur des joints est de 0^m.002 sensiblement; l'eau s'introduit sur les trois quarts du contour d'un joint; la section libre est donc supérieure à 0^mq.0001, ou vingt fois plus grande que celle qui serait strictement nécessaire.

L'usage des *manchons* ou colliers ne saurait être trop recommandé, surtout quand la terre du fond est molle, facile à entraîner.

Les tuyaux des drains collecteurs ont, en général, 0^m.05 à 0^m.08 d'ouverture, et, selon la quantité d'eau qu'ils doivent écouler, on compose le conduit du collecteur de 1, 2 ou même 3 tuyaux juxtaposés.

Quant aux avantages de la forme circulaire, ils résultent surtout de ce que, pour une quantité de matière donnée, la section libre est un maximum, tandis que la résistance à l'écoulement est un minimum, et qu'en outre la résistance aux pressions extérieures est un maximum pour une épaisseur donnée. Donc, économie dans le prix d'achat et de transport.

Les obstructions y sont moins fréquentes que dans toute autre forme de conduit; la pose en est plus rapide, plus sûre, plus exacte.

On peut donc dire, sans hésitation, que le drainage exécuté avec conduits en tuyaux jointifs est à la fois le plus parfait et le plus économique entre tous. Si l'on compare ses prix de revient avec ceux des autres systèmes, on trouve assez généralement les résultats suivants, selon M. Lecler :

Prix du drainage avec conduits en tuyaux jointifs.	1
Prix du drainage avec empierrement.	2
Prix du drainage avec briques ordinaires.	3
Prix du drainage avec briques creuses.	1.5
Prix du drainage avec tuiles et semelles.	1.2

Le mètre courant de conduits en tuyaux coûte de 0^r.06 à 0^r.08.

La durée d'un drainage avec conduits en tuyaux jointifs, bien établi, doit être indéfinie si les tuyaux sont de bonne qualité et si la pose a été opérée dans toutes les conditions voulues.

Pour fixer les idées en ce qui concerne *la pente à donner aux drains et à leurs conduits*, il suffit de remarquer que les drains doivent être établis avec la pente nécessaire et seulement suffisante pour que l'eau puisse s'écouler après avoir vaincu les résistances diverses dont il a été question. II

importe d'ailleurs, on le conçoit, de ménager cette pente avec le soin le plus scrupuleux. La pente des conduits en tuyaux ne doit pas descendre au dessous de 0^m.002 par mètre; celle des conduits en empierrement ne doit pas être au dessous de 0^m.005. Quand l'inclinaison du sol à la superficie est assez considérable, le fond des drains d'assèchement peut être établi parallèlement à la surface, dont il suit alors les ondulations principales. En terrain plat, on crée une pente artificielle en diminuant graduellement la profondeur des saignées depuis l'origine jusqu'au collecteur. Quant aux drains collecteurs, leur pente ne doit jamais être abaissée au dessous de 0^m.002 par mètre, et il convient généralement d'augmenter cette pente, quelle qu'elle soit, sur une longueur de quelques mètres en avant de la décharge, afin de produire au débouché une sorte de chasse par accroissement brusque de la vitesse. Une précaution du même genre peut être observée avec avantage sur les drains d'assèchement et pour une longueur de 2 à 3 mètres en dessus du point où ils viennent rencontrer le collecteur.

Lorsqu'on se préoccupe de la *dimension à donner aux conduits des drains*, le calcul fait reconnaître qu'une conduite de 0^m.025 de diamètre, avec pente de 0^m.003 par mètre, peut débiter en 24 heures 30,384 litres d'eau, c'est-à-dire une quantité égale à celle qui tomberait dans le même temps sur une surface de 81^m de long sur 15^m de large, en supposant une pluie assez intense pour fournir en 24 heures une hauteur d'eau de 0^m.025 : de là une limite pour la dimension des tuyaux d'assèchement, et en même temps un moyen de calculer la section des conduits collecteurs; mais il importe, dans tous les cas, de ne pas excéder les sections d'écoulement nécessaires et suffisantes, parceque les obstructions se produisent d'autant plus facilement que la section libre du tuyau est plus considérable. En général, un tuyau collecteur de 0^m.050 de diamètre suffit pour écouler l'eau recueillie par les drains d'assèchement répandus sur une superficie de 1^h.5, et un tuyau de 0^m.08 pour une superficie de 4 hectares.

La *longueur des drains* doit être réglée relativement au volume d'eau que chacun d'eux doit recevoir et écouler. M. Lecler, en supposant que les pluies ordinaires correspondent à une hauteur d'eau de 0^m.01 en 24 heures, que la portion filtrée à travers le sol est égale à 0.743 de la masse tombée, et que les saignées doivent écouler cette quantité d'eau en 36 heures, a établi un tableau dans lequel nous prenons quelques chiffres seulement.

Tuyaux de 0^m.025.

Ecartement des drains.	Longueur pour une pente de	
	0 ^m .002	0 ^m .005
7 m.	130 ^m .69	225 ^m .92
12	76 .41	132 .09
15	61 .13	105 .67

Lorsque l'on veut excéder ces longueurs, il faut et il suffit de composer le conduit d'un même drain avec des tuyaux de diamètre croissant par zones. Il est bon cependant de ne pas dépasser une longueur de 200 à 250 mètres pour un drain collecteur. Au delà de cette limite, il convient de placer des regards ou cheminées.

M. FAURE, après avoir ainsi passé en revue les éléments principaux d'une étude de drainage méthodique, rappelle que tout ce qu'il a dit jusqu'ici s'applique au drainage d'un terrain à sol ou sous-sol rétentif, mais dont l'humidité est due aux eaux de pluie.

Lorsque l'humidité est produite par les eaux de source, il n'y a pas toujours lieu et il serait peu économique en général de recourir au système de drainage régulier et méthodique. Il est alors presque toujours avantageux d'appliquer la méthode connue sous le nom de *méthode d'Elkington*. Mais ici l'on éprouve une sorte d'embaras, car ce que l'on a appelé méthode d'Elkington constitue un système d'assèchement particulièrement applicable aux terrains marécageux, éminemment variable dans ses procédés, dans son organisation, dont l'ensemble ne comporte ni une description régulière, ni une série de règles ou de prescriptions méthodiques.

Des observations judicieuses, une étude géologique sérieuse, des sondages divers pratiqués à la tarière sur des points assez multipliés et sur une profondeur qui généralement n'excède pas 3 à 5^m, permettront d'acquiescer des notions exactes sur la nature des terrains, la disposition relative des couches, les unes perméables, les autres imperméables. Les résultats de cette étude complexe fixeront sur la nature, le nombre et la disposition des saignées d'assèchement.

M. FAURE emprunte à MM. Lecler et Mangon quelques exemples qui font comprendre le but de ces études préalables et l'importance des déductions qu'elles fournissent.

La méthode dite d'Elkington remonte aux temps les plus reculés; mais les travaux de cet habile fermier, qui a su appeler l'attention sur ses procédés par les beaux résultats obtenus, par l'entente judicieuse de ses opérations de dessèchement, ont été commencés vers la fin du dernier siècle.

Atteindre les sources par des tranchées pratiquées de manière à rencontrer les couches aquifères, en réduisant autant que possible leur développement, tel doit être le but principal; mais il arrive souvent que des tranchées de profondeur ordinaire, c'est-à-dire n'excédant pas 2^m, ne permettent pas de rencontrer les lits perméables; souvent encore l'on ne peut pas trouver un point assez bas pour établir l'issue ou le débouché des drains. On est forcé alors de recourir à l'emploi des puits *ascendants* ou *absorbants*. Les premiers ne peuvent être établis que dans certaines conditions géologiques bien connues de ceux qui ont étudié la théorie des puits artésiens; les seconds répondent aux cas où les veines aquifères reposent sur des couches perméables, poreuses et puissantes. Lorsqu'on est assez heureux pour rencontrer ce genre de terrains à quelques mètres en dessous du sol arable, il suffit généralement de deux ou trois forages par hectare pour absorber les eaux fournies par un hectare de terrain.

On comprend d'ailleurs que la diversité des cas, la variété des travaux correspondants, ne permettent pas de s'étendre plus longuement sur la méthode d'Elkington, et que l'on doit se borner à renvoyer soit aux traités spéciaux, soit aux ouvrages de MM. Lecler et Mangon.

M. FAURE aborde la question du *prix de revient des travaux de drainage*, en insistant d'abord sur la nature essentiellement variable de ses éléments.

M. Lecler indique les chiffres suivants, rapportés au drainage d'un hectare :

Ecartement des drains.	Longueur moyenne.	Nombre de tuyaux.
10 ^m	1,008 ^m	3,551
12	884	3,128
13	830	2,981

Les tuyaux de 0^m.025 coûtent de 15 à 22 fr. le mille.

Le mètre courant de tranchée dans une argile forte, mêlée de bancs de gravier, exigeant l'emploi de la pioche, et sur 1^m.20 de profondeur, coûte, d'après M. Mangon, 0^f.12 à 0^f.14.

D'après M. Lecler, le prix de drainage de l'hectare en Belgique varie de 98 à 393 fr. pour des profondeurs de tranchées comprises entre 0^m.60 et 1^m.35, les espacements variant de 5 à 15^m; la longueur développée des drains d'assèchement comprise entre 595^m et 1,765^m, celle des drains collecteurs entre 94^m et 237^m.

Un exemple choisi entre ceux qu'il donne, et pour lequel le prix de l'hectare s'est élevé à 180 fr., donne la répartition suivante :

Prix des tuyaux.	88 f. 34
Leur transport.	5 »
Main - d'œuvre.	80 85
Frais divers.	5 75
	<hr/>
Total.	179 94

D'après M. Parkes, le prix du drainage d'un hectare varie de 247 à 308 fr. Selon M. Smith, le prix du drainage d'un hectare avec tuiles et semelles varierait de 145 fr. 70 à 346.

En France, M. Lupin, dans le Cher, a exécuté des travaux de drainage dont le prix de revient s'est élevé à 225 fr. pour 1,000^m de tranchées et 3,000 tuyaux.

M. Laurent a exécuté à forfait, chez M. de Courcy, à Rozoy-en-Brie, des travaux dont le prix de revient à l'hectare a été de 200 fr., et qui lui ont été payés à raison de 224 fr. 20.

Dans l'Aisne, à sa terre du Charmel, M. de Rougé a fait exécuter par une compagnie anglaise d'importants travaux au prix de 234 fr. 33 par hectare, et par mètre linéaire 24 fr. 25.

Dans le Finistère, la transformation d'un marais en prairie a été opérée pour le prix de 425 fr. par hectare, avec la répartition suivante :

Drainage.	225 ^r »
Défrichement, engrais, graine.	200 »

MM. Mangon, Lecler, Barral, et ce dernier surtout, donnent sur ces prix de revient des détails nombreux, d'un intérêt considérable, que nous ne saurions trop recommander, obligés que nous sommes de nous restreindre ici.

Pour évaluer les bénéfices réalisés par le drainage, nous ne pouvons dans ce compte-rendu qu'indiquer sommairement quelques uns des résultats contenus dans les ouvrages où nous puisons.

Sur un domaine du Staffordshire, 189 hectares drainés ont présenté les résultats suivants :

L'eau provenant du drainage est employée à l'irrigation de 36 hectares de prairie, après avoir donné le mouvement à une roue hydraulique qui conduit :

Une machine à battre, un hache-foin et paille, des concasseurs d'avoine et d'orge pour la nourriture de 250 têtes de gros bétail, des meules pour le malt, et une scie circulaire.

L'argent dépensé en travaux de drainage rapporte 28.84 0/0. L'accroissement de la vente par hectare dû au drainage, est de 57 fr. 55.

Le drainage a coûté.	37,720 ^r 23
L'établissement de l'hydraulique et des machines a coûté	25,000 »
Les travaux d'irrigation ont absorbé.	5,617 50
Total	<u>68,337 73</u>

Ce capital produit annuellement :

Excédant de vente des terres drainées.	10,877 ^r 56
Produits de la roue hydraulique.	10,000 »
Accroissement des prairies irriguées.	4,450 »
Total.	<u>25,327 56</u>

Sans doute, dit M. Barral, auquel nous empruntons ce magnifique résultat, il est exceptionnel, mais on peut, on doit fixer à 8 ou 9 0/0 le minimum d'intérêt de l'argent engagé dans l'exécution des travaux de drainage.

M. Spooner et d'autres indiquent le chiffre moyen de 10 0/0.

Les exemples pour lesquels le produit s'est élevé à 25 0/0, et même 33 0/0, ne sont pas très rares.

M. de Rougé, au Charmel, a constaté les résultats suivants :

La production d'un hectare,

En blé, a passé de.	518 kil. à 1.267 kil.
En paille.	2,000 4,180
En seigle.	1,050 3,024
En paille.	3,300 7,700

M. Decauville, à Brie-Comte-Robert, dit : « En 1853, j'estime qu'il « faut porter à 25 0|0 l'augmentation de récolte que m'a procurée le drai- « nage ; mais, durant les deux années qui ont suivi mon drainage, mes « récoltes n'ont pas beaucoup augmenté, ces deux années ayant été « sèches. »

Il importe de noter que les résultats du drainage sont d'autant plus avan- tageux qu'il est appliqué à des terres plus riches, et sur lesquelles on ne négligera ni les fumures abondantes, ni les labours profonds, ni les soins divers. Dans ces conditions, le drainage rapporte souvent au delà de 20 0|0.

Comme derniers exemples du drainage appliqué aux terres cultivées en céréales, nous rapporterons les chiffres suivants, réalisés par M. de Rougé :

Excédant du produit sur les frais de culture :

Avant le drainage.
47 fr.

Après le drainage.
296 fr.

Bénéfice dû au drainage, 249 fr. par hectare.

Prix du drainage, 234 —

L'opération a donc été payée et au delà en une année.

Et enfin ceux-ci, empruntés à M. Lecler, et réalisés en Belgique :

Accroissement dû au drainage :

22 0|0 sur le nombre de gerbes ;

40 0|0 sur le poids des grains ;

7 0|0 sur le poids de l'hectolitre.

M. Barral a donné des chiffres applicables non seulement aux céréales, mais aux cultures diverses, et tous révèlent une amélioration au moins égale.

Les limites déjà trop dépassées d'un compte-rendu ne nous permettent pas de suivre M. Faure dans l'analyse qu'il a faite des avantages généraux dus au drainage, et qui se résument à peu près ainsi :

Suppression de la plupart des fossés à ciel ouvert, soit 4|10^e à 4|35^e de la superficie totale rendue à la production dans les terres fortes ;

Suppression des labours en ados ou billons ;

Transformation complète des terrains marécageux ;

Ameublissement complet des terres les plus compactes ;

Labours rendus plus faciles, plus économiques ; réduction du nombre des animaux de travail ;

Modification avantageuse des assolements, suppression des jachères ;

Augmentation de l'épaisseur de la couche active du sol :

Action des engrais plus rapide et plus complète, amélioration considérable de la qualité des récoltes ;

Avancement de la maturité (8 jours, 3 semaines, selon les lieux et les climats) ;

Enfin, amélioration de la salubrité du climat, de la santé des hommes, et plus encore peut-être de celle des animaux.

Pour se rendre un compte exact des résultats divers du drainage, de ses

effets économiques, mécaniques, chimiques, il faut recourir à une lecture approfondie soit de quelques chapitres de MM. Lecler et Mangon, soit surtout à l'ouvrage de M. Barral, qui a fait une étude remarquable et souverainement intéressante de ces effets divers.

M. FAURE examine ensuite rapidement la part qui doit revenir au propriétaire et au fermier dans l'exécution du drainage, empruntant d'ailleurs ses conclusions sur ce sujet à Stephens et à M. Barral.

Enfin, il signale les tentatives faites par M. Barral pour établir une théorie du drainage, les deux formules auxquelles cet auteur a été conduit, en remarquant que ces deux formules, bien qu'elles soient loin de présenter une expression complète et exacte des phénomènes auxquels elles s'appliquent, conduisent cependant à des conséquences intéressantes sur les relations qui unissent entre elles les données de la question, c'est-à-dire l'écartement, la profondeur des drains, la section des conduits et la hauteur voulue pour l'abaissement de la nappe stagnante. A ce sujet, M. Faure donne quelques détails sur les études expérimentales du révérend Clutterbuck, qui font voir comment se comporte et s'abaisse graduellement la surface courbe affectée par la nappe stagnante entre deux drains d'assèchement immédiatement voisins.

M. FAURE dit qu'il ne voudrait pas quitter ce sujet sans donner quelques détails sur la fabrication et le moulage mécanique des tuyaux ; mais le temps le presse, et, sans se préoccuper des manutentions et préparations des terres propres à la fabrication des tuyaux, il doit se borner à indiquer le principe général des machines à mouler l'argile en prismes ou tuyaux pleins ou évidés. Une capacité contenant la terre amenée à l'état de pâte, un piston forçant la terre à passer à travers une filière, le couteau à beurre : tels sont les éléments généraux de ces machines. M. Faure cite les noms des auteurs de quelques unes de ces machines, leur production quotidienne, leurs dispositions ou différences essentielles. Il termine en citant quelques exemples des machines à mouvement continu, en indiquant les difficultés du problème, qui toutes, d'ailleurs, lui paraissent subordonnées à une vitesse extrêmement lente du piston ou de l'organe compresseur. Ainsi, dans la machine de Scragg, celle dont la production est la plus considérable pour une même force dépensée, la vitesse du piston est de 0^m.006 environ par seconde.

M. FAURE termine en citant les efforts heureux et persévérants faits dans ces derniers temps pour populariser la fabrication des tuyaux de drainage par MM. Gareau et Lauret dans Seine-et-Marne, par M. Vincent dans l'Oise, par M. Rothschild, à Ferrières, par M. Robert de Pourtalès à son domaine de Boudeville, dans Seine-et-Oise ; par M. de Veauce dans le Bourbonnais.

M. LE PRÉSIDENT prie ensuite M. Thomas de faire part à la Société des observations qu'il a faites sur le dernier tremblement de terre qui a été ressenti dans les Pyrénées.

M. THOMAS dit qu'au moment du tremblement de terre il se trouvait à Cauterets. Ce pays renferme de nombreuses sources d'eaux thermales, 8 à

10 sources au moins, dont la température varie de 35 à 66° : d'où une certaine probabilité pour que des tremblements de terre s'y fassent sentir.

Le dernier tremblement de terre s'est étendu de Toulouse à Bayonne, à Bordeaux et jusqu'à Angoulême. Son point le plus fort a été aux Eaux-Bonnes et à Barèges.

Le 25 juillet dernier, à 2 heures 3/4 du matin, on a entendu dans les maisons d'habitation un bruit que l'on ne peut mieux définir qu'en le comparant à celui d'une lourde diligence roulant à l'étage supérieur. Le phénomène a duré 20 secondes. M. Thomas évalue le mouvement oscillatoire horizontal des maisons à 7 ou 8 centimètres. D'autres personnes ont donné à peu près le même chiffre.

Les animaux ont paru pressentir le tremblement de terre; ils ont témoigné pendant sa durée une grande terreur. La classe pauvre a paru effrayée.

Dans la journée suivante on a ressenti quelques mouvements, un entre autres de deux heures à cinq heures trois quarts; dans la nuit d'après, une assez forte secousse à onze heures. Il y a eu dans le même moment huit ou dix secousses, dont la plus forte environ vingt-trois heures après la première.

Quelques personnes nerveuses ont succombé; une mauvaise maison s'est écroûlée, des cloches ont sonné, un mauvais clocher a été lézardé. La presque totalité des baigneurs s'est sauvée. Tous les habitants de Barèges sont partis.

Les secousses ont continué quatre jours, et même jusqu'à la cinquième nuit, assez régulièrement à douze et à vingt-quatre heures d'intervalle.

Une observation digne de remarque, c'est que le mouvement a été très peu sensible sur les roches; au contraire, toute son intensité a eu lieu sur les terres d'alluvion.

Le même fait a été observé dans le tremblement de terre de la Guadeloupe.

Les eaux de Cauterets, ni celles de Barèges, n'ont été modifiées; celles de Bagnères-de-Luchon ont été troublées momentanément.

La première nuit, le mouvement a été oscillatoire; les nuits suivantes, il a été vertical. Ce dernier a été beaucoup plus destructif pour les maisons.

Une singularité, c'est que des quartiers de rochers très mobiles, que de fortes eaux dérangent, n'ont pas subi le moindre déplacement par l'effet du tremblement de terre.

SÉANCE DU 1^{er} SEPTEMBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. CASTEL, membre de la Société, donne communication d'une note sur un nouveau système de chaudière inventé par M. Zambaux.

Ce nouveau système de chaudière tubulaire est surtout applicable aux machines des bateaux à vapeur; il présente un perfectionnement que l'on peut également introduire avec avantage dans les locomotives des chemins de fer.

Ce perfectionnement consiste à empêcher l'entraînement de l'eau par la vapeur dans les cylindres, inconvénient grave que l'on a déjà cherché à combattre par divers moyens, sans y parvenir jusqu'à présent d'une manière bien efficace. M. Zambaux paraît avoir réalisé ce progrès, si désirable, dans son nouvel appareil, dont nous allons donner la description.

Lorsqu'on veut appliquer cette chaudière à la marine ou à une machine fixe, on la dispose verticalement, de manière à occuper le moins de place possible.

Cette chaudière se compose, comme les chaudières ordinaires, d'un foyer, ou boîte à feu, établi à la partie inférieure; d'un corps cylindrique qui enveloppe et surmonte le foyer, d'une série de tubes dont le nombre varie suivant la puissance de la machine, d'une boîte à fumée placée à la partie supérieure de la chaudière et surmontée de la cheminée. La prise de vapeur est pratiquée dans le haut du corps cylindrique, à quelques centimètres en contrebas de la plaque tubulaire de la boîte à fumée.

Jusqu'ici, sauf sa disposition verticale, cet appareil ne présente aucun caractère de nouveauté; mais il est évident que, s'il était établi purement et simplement dans ces conditions, il serait tout à fait incapable de fonctionner, d'abord parceque les tubes, ne pouvant être complètement immergés, seraient bientôt brûlés à leur partie supérieure; en second lieu, parceque, l'orifice de prise de vapeur étant très voisin du niveau d'eau, et l'ébullition se produisant d'une manière tumultueuse dans toute la masse, l'eau se trouverait entraînée avec la plus grande facilité dans les conduits de vapeur.

C'est pour remédier à ce double inconvénient que M. Zambaux a eu l'idée d'établir dans l'intérieur de sa chaudière une seconde enveloppe, en tôle galvanisée, qui porte sur des entretoises taraudées, à une certaine distance de la base inférieure de la chaudière, entre le corps cylindrique et le foyer, et qui s'élève, en entourant le faisceau tubulaire, jusqu'à 0^m.10 environ de la plaque supérieure.

L'appareil est complété par un capuchon cylindrique également en tôle, et d'un diamètre un peu plus grand que l'enveloppe, qui lui est concentri-

que. Ce capuchon est fixé à la plaque tubulaire supérieure, et descend jusqu'à 0^m.15 au dessous de la prise de vapeur.

Supposons maintenant qu'une chaudière ainsi construite soit remplie d'eau jusqu'aux deux tiers environ de sa hauteur, et que le foyer soit allumé : examinons comment s'accompliront les fonctions de l'appareil.

L'eau contenue dans l'intérieur de l'enveloppe en tôle galvanisée, étant en contact avec les tubes, atteindra rapidement une température élevée et produira une grande quantité de vapeur, tandis que l'eau extérieure à cette enveloppe restera à une température sensiblement plus basse. Il en résultera une différence de densité qui forcera l'eau intérieure mêlée de vapeur à monter jusqu'à l'extrémité des tubes, de manière à les immerger complètement ; mais en arrivant au sommet de la chaudière, la masse aquovaporeuse rencontrera le capuchon, qui la forcera à redescendre, pour remonter ensuite vers la prise de vapeur, en passant dans l'intervalle ménagé entre le capuchon et la seconde enveloppe. Ce brusque changement de direction opérera une séparation mécanique de la vapeur et de l'eau. Cette dernière, suivant les parois du capuchon, retombera dans la chaudière à l'extérieur de l'enveloppe, tandis que la vapeur sèche arrivera seule au tuyau de prise de vapeur.

Une chaudière construite d'après ce système a été soumise à l'examen d'une commission nommée par M. le ministre de la marine, et a donné des résultats aussi satisfaisants qu'on pouvait l'espérer. Après plusieurs expériences successives, le rapporteur de cette commission a émis un avis tout à fait favorable sur ce nouveau mode d'appareil évaporatoire.

En ce qui concerne les chaudières des locomotives, on peut leur appliquer facilement le perfectionnement proposé par M. Zambaux, sans rien changer à leur forme et à leur disposition actuelles.

Il suffit d'ajouter, de chaque côté du faisceau tubulaire, à l'intérieur et sur toute la longueur du corps cylindrique, deux tôles cintrées qui s'élèvent à 0^m.10 environ au dessus du niveau de l'eau ; deux autres pièces de tôle également cintrées et assemblées par une cornière sont disposées à la partie supérieure de la chaudière, d'une extrémité à l'autre, et servent à compléter le système de seconde enveloppe. Lorsque la machine est en feu, il se produit un effet complètement analogue à celui que nous avons indiqué plus haut, c'est-à-dire que la vapeur, obligée de s'infléchir avant d'arriver à son orifice de sortie, abandonne l'eau qu'elle tenait en suspension et parvient sèche dans les conduits.

Ce système n'a pas encore été essayé sur les locomotives des chemins de fer, mais il est permis de croire qu'il pourrait y être appliqué tout aussi avantageusement qu'aux machines ordinaires dans lesquelles il a été expérimenté.

M. CALLA appelle ensuite l'attention de la Société sur la chute de la grue de Saint-Ouen au moment de sa rupture. Cette grue, qui est en fonte, avec pivot en fonte enfermé dans une maçonnerie de fondation construite pour une charge de 8 tonnes, était chargée de 14 tonnes. Il est vrai qu'elle avait déjà porté des charges semblables, et même, paraît-il, plus considérables.

La rupture a eu lieu lorsque la charge était arrivée à quelques centimètres du fond, et par conséquent à la fin du travail, et non au commencement. Cette remarque de la rupture des grues en fonte pendant le déchargement des pièces a été constatée souvent : cela tient à ce que, pour la descente des pièces chargées, les hommes à qui la manœuvre est confiée quittent les manivelles et se servent uniquement du frein, pour avoir moins de peine.

Il résulte de cette manœuvre vicieuse un accroissement de vitesse, et par conséquent un travail considérable développé dans le système, travail qui va croissant jusqu'au moment où, la charge étant déposée, il se trouve tout à coup anéanti. Aussi il arrive inévitablement que, même avec des charges moins lourdes que celles que la grue peut supporter, le travail si considérable qui est anéanti dans un si court espace de temps développe dans l'appareil une force vive à laquelle la fonte ne peut pas résister.

Les résultats de la rupture des grues en fonte peuvent donc être attribués en majeure partie au mauvais emploi du frein. Le seul moyen d'éviter ces ruptures, c'est de faire l'inverse de ce qui se pratique aujourd'hui, c'est-à-dire de ralentir la vitesse descendionnelle lorsqu'on arrive près de la fin de la course, au lieu de développer son accélération en lâchant tout.

Pour obtenir ce résultat, il ne serait pas nécessaire de supprimer le frein ; il suffirait de le mettre en action par une transmission disposée de manière à lui imprimer un mouvement très lent, pour graduer ainsi la vitesse descendionnelle du fardeau.

On appuie les observations présentées par M. Calla, et l'on insiste sur ce point que c'est bien l'extinction de la vitesse de la puissance vive à l'aide du frein qu'il faut atteindre à la fin de la course dans le déchargement, pour diminuer les chances de rupture des grues en fonte.

Si les grues en bois ne présentent pas l'inconvénient des grues en fonte, cela tient surtout à ce que, la matière employée étant douée d'une certaine élasticité, on est prévenu par des craquements de l'excès de travail qu'on lui fait supporter, et l'on peut alors éviter la rupture. Cette considération ne doit pas exclure les grues en fonte, mais elle doit appeler l'attention des constructeurs pour qu'ils apportent des améliorations dans le système de transmission employé pour le frein.

On cite à l'appui de ces observations qu'au chemin de fer de Strasbourg on a pu constater la rupture d'un certain nombre de grues en fonte brisées par l'emploi inintelligent du frein.

On cite également ce qui se passe dans la réception des pieux pilotis battus à refus, où souvent il arrive que les ouvriers, pour tromper sur le degré du refus obtenu dans les treuils à délie, agissent frauduleusement sur le levier du frein au moment où le mouton va atteindre la tête du pieu, et amortissent ainsi considérablement son travail ; il arrive souvent alors que les treuils se brisent et que les hommes sont blessés.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Calla de sa communication, qui est de nature à fixer l'attention des membres de la Société sur le rôle des grues en fonte ; il l'invite, pour ajouter à l'intérêt de sa communication, de vouloir bien remettre à la Société un exemplaire de l'album ou spécimen de grues en fonte qu'il a construites, et à chercher le meilleur système à sui-

vre pour remédier aux inconvénients signalés et constatés par l'expérience.

Il est ensuite donné communication d'un nouveau système de roues pleines en tôle, pour wagons et machines locomotives, inventé par M. Amable Cavé.

Dans ce système, les rayons sont remplacés par deux tôles placées dos à dos et embouties à la partie en contact avec le bandage, de manière à lui présenter un appui suffisant; puis elles s'écartent pour venir embrasser une nervure circulaire faite au moyeu sur lequel elles sont rivées. Ces deux tôles sont également rivées à leur contact supérieur entre elles d'abord, puis au bandage, ou au faux bandage quand on en applique un.

Il est ensuite donné lecture d'une note sur un nouveau système de fabrication de tuyaux en bois revêtus d'une couche de coltar, combinés pour les conduits d'eau, de gaz et autres, par M. Schweppé.

On débite d'abord dans des pièces de bois de dimensions convenables trois ou quatre tubes concentriques, à l'aide d'un outil combiné à cet effet, et en laissant à chaque tube l'épaisseur nécessaire, suivant l'application que l'on veut en faire, et après avoir préparé dans une grande bassine un bain de brai que l'on chauffe préalablement à une température assez élevée pour le rendre presque bouillant et suffisamment liquide, quoique ne pouvant néanmoins s'étendre au pinceau. On y plonge successivement chaque tube, ou même plusieurs tubes à la fois, lorsque les dimensions le permettent, en les y laissant bouillir pendant une demi-heure environ, pour que le bois s'imprègne bien, à l'intérieur comme à l'extérieur, de la matière goudronneuse, qui, de cette sorte, pénètre jusque dans les pores.

Pour que ce premier bain soit moins sec, on y ajoute une certaine quantité d'huile essentielle qui s'obtient par la distillation du coltar, qu'on a le soin de faire cuire avant de le mettre dans le brai, afin d'en dégager le plus possible l'ammoniaque.

Aussitôt que les tuyaux sortent de ce premier bain, on les place dans un second bain composé de brai seulement, où on les laisse bouillir encore une demi-heure.

On introduit alors dans l'intérieur de ces tuyaux ainsi préparés un tube en tôle mince, préalablement plombé et soudé. A chaque extrémité on place une frette, qui est également plombée, avec un raccord à vis du même métal. Cette frette est ensuite soudée non seulement au raccord, mais aussi à l'extrémité du tube intérieur.

On les recouvre ensuite à l'extérieur, pour les eaux et les acides que ces tuyaux auraient à conduire, avec une couche de bitume, de goudron ou d'asphalte, et à l'intérieur avec une couche de bitume et de sable. Cependant, lorsque ces tuyaux sont destinés à la conduite du gaz, l'auteur laisse l'intérieur en tôle sans le couvrir de bitume.

Après cette communication, il est donné lecture d'une lettre de M. Muntz sur les essais faits en Prusse sur la résistance de trois systèmes de rails à champignon, qui ont conduit à l'emploi d'un rail de 32 kilog. 3, de la forme dite américaine, ayant 124 millimètres de hauteur, 91 millimètres de largeur à la base, 58 millimètres de largeur à la face de roulement, avec une épaisseur au milieu de 14 millimètres.

SÉANCE DU 6 OCTOBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. Nozo donne communication d'une note sur la puissance comparative de vaporisation entre les générateurs à bouilleurs avec foyer en maçonnerie et les générateurs tubulaires à foyer intérieur.

Cette note contient le résumé de deux séries d'expériences faites par M. Nozo sur deux chaudières à bouilleurs réunies, d'une part, et une chaudière tubulaire de locomotive, de l'autre.

Dans chaque système de générateur, la surface de chauffe totale est à peu près la même : elle est de 72 m. q. environ.

Dans la première série d'expériences, l'appareil mécanique sur lequel on fait agir la vapeur des générateurs est celui de la machine locomotive.

Dans la deuxième série d'expériences, c'est sur une machine fixe que la vapeur agit.

La consommation en houille, dans le système à bouilleurs alimentant la locomotive, a été trouvée égale en moyenne à 2474 kil. par journée de dix heures, et la consommation en coke avec l'emploi de la chaudière tubulaire a été trouvée aussi en moyenne, par journée de dix heures, de 1,794^k.56.

En ramenant cette consommation de coke à ce qu'elle eût été si l'on avait employé de la houille, on trouve (le rapport des capacités caloriques entre le coke et la houille étant de 45 :) que la houille consommée pour produire la même quantité de vapeur eût été de 1,435^k.65.

L'économie journalière réalisée aurait donc atteint le chiffre de 1,038^k.35, soit 42 p. 100.

Dans la deuxième série d'expériences, les conditions d'installation étaient très défavorables au générateur tubulaire : aussi le tirage artificiel n'était produit que par 100 échappements de la machine fixe à la minute, au lieu de 372 que fournissait la locomotive ; de plus, les générateurs à bouilleurs marchaient avec un système de rechauffage qu'il n'a pas été possible d'appliquer à la chaudière tubulaire ; enfin la section de la cheminée était insuffisante.

Dans le cours des expériences, les quantités d'eau vaporisées par kilogramme de houille consommé sont restées en parfait accord avec les résultats généraux. Ainsi, pendant que les générateurs à bouilleurs ne vaporisaient que 6^k.4 à 6^k.5 d'eau par kilogramme de houille consommée, les générateurs tubulaires vaporisaient de 10 à 11 kil.

Ces résultats sont remarquables : aussi ont-ils déjà attiré l'attention de quelques constructeurs, qui ont placé dans leurs ateliers des chaudières tubulaires avec injection d'air pour brûler la fumée.

M. MOLINOS donne ensuite communication d'une note sur les considérations qui peuvent guider dans le choix d'un système de ponts.

Il se propose d'examiner dans cette note les principaux systèmes de ponts métalliques qui ont été exécutés jusqu'à présent, et d'indiquer, à un point de vue très général, les avantages respectifs qu'ils présentent, suivant les différentes conditions des problèmes qu'ils sont appelés à résoudre.

On conçoit qu'en égard à la variété considérable de ces conditions, il soit difficile, pour ne pas dire impossible, d'indiquer des conclusions qu'on puisse considérer comme des règles invariables. Il est pourtant des caractères généraux qui peuvent servir de guide dans la plupart des cas pour le choix d'un système de ponts : ce sont ces caractères qu'il essaie de résumer.

Les systèmes de ponts exécutés jusqu'à présent peuvent, sous le rapport de la forme, se ranger dans trois classes : les ponts suspendus, les ponts droits et les ponts en arc.

Il y a peu de mots à dire du premier de ces systèmes. Quelques accidents, aussi graves qu'inattendus, ont produit contre les ponts suspendus une réaction qui tend à en faire proscrire universellement l'emploi. Faut-il se laisser décourager par ces précédents malheureux, et regarder ces ponts, souvent commodes et économiques, quelquefois même les seuls possibles à établir, comme destinés à disparaître définitivement du domaine de l'art, ou tenter de nouveaux efforts pour leur y conserver une place? Une étude attentive de la vraie théorie de ces ponts déciderait facilement cette question. Le plus grand nombre des ponts suspendus qui ont été construits jusqu'à ce jour l'ont été presque sur un modèle unique, et nous ne craignons pas d'affirmer que presque tous aussi sont excessivement dangereux. Ces ponts, composés pour la plupart de parties mal reliées entre elles, d'une chaîne très défavorable par elle-même et à laquelle les surcharges ne sont transmises qu'en un seul point à la fois, échappent presque complètement au calcul, car ils sortent des conditions sur lesquelles est basée la théorie de la résistance. Il est évident, en effet, qu'on ne peut les considérer comme étant en équilibre stable sous l'action de surcharges en mouvement : aussi voit-on les tabliers de ces ponts soumis à des oscillations dont les amplitudes peuvent varier suivant les hasards que présente la combinaison du pas d'un certain nombre de personnes, ou des secousses causées par plusieurs véhicules; et, selon que les efforts produits par ces différentes causes s'ajouteront à de certains moments, il se développera dans le cours de ces oscillations des forces qui pourront être infiniment supérieures à celles qu'indiquerait l'équilibre statique. C'est à cette cause qu'on doit attribuer les nombreux accidents auxquels ces ponts ont donné lieu dans ces derniers temps.

Il existe pourtant quelques constructions de ce genre qui paraissent avoir résolu des problèmes assez difficiles pour qu'on doive, avant de condamner ce système, chercher s'il ne serait pas possible d'en atténuer les inconvénients. Le pont de Fribourg, le pont suspendu de Londres, sont des exemples bien dignes d'encourager ce genre de recherches. Nous croyons, en effet, qu'il est des circonstances où un pont suspendu présente de grands avantages, et qu'il est possible, au moyen de certaines dispositions, de

leur donner une stabilité suffisante pour que les vibrations auxquelles ils seront soumis deviennent assez peu sensibles pour ne plus présenter que de légers inconvénients. Nous allons indiquer dans quelle voie nous croyons qu'il faut rechercher ces perfectionnements, dont quelques uns ont déjà été essayés par quelques ingénieurs, mais jamais avec un ensemble et un radicalisme suffisants pour atteindre complètement le but.

La principale cause des oscillations du tablier d'un pont suspendu est dans le mode d'attache du tablier à la chaîne; le système de tiges verticales, presque universellement adopté, présente le grave inconvénient de ne transporter le poids de la surcharge en mouvement qu'en un seul point de la chaîne, par conséquent d'en provoquer la déformation et de favoriser ainsi, autant que possible, le développement de l'oscillation. Ce serait une amélioration très sensible, dans la construction de ces ponts, que de remplacer les tiges verticales par des tiges placées en diagonales qui reportassent directement la pression de la surcharge sur une plus grande longueur de la chaîne et rendissent en même temps sa déformation plus difficile; le tablier se trouverait ainsi relié à la chaîne par un treillis en fer à T, propre à s'opposer avec efficacité à ce genre de mouvement en introduisant dans le système des forces intérieures considérables. On obtiendrait encore un excellent résultat en prolongeant ces tiges au dessous du tablier et en reliant les extrémités par une autre chaîne dont la convexité serait tournée en sens inverse de la chaîne supérieure. Le rôle de cette chaîne est facile à concevoir : dans les dispositions actuelles, lorsque le tablier s'est abaissé sous l'influence d'une charge et qu'il remonte en dépassant sa position d'équilibre par suite de l'élasticité, aucune action vraiment efficace autre que la pesanteur ne s'oppose à ce mouvement ascensionnel, car les tiges résistent à la compression et fléchissent à cause de leurs faibles sections; il en résulte que ces oscillations sont longues à arrêter, et que les chances de voir les actions qui les déterminent se combiner augmentent aussi. Au moyen de la chaîne inférieure, on pourrait donner aux tiges une tension initiale qui accroîtrait considérablement la rigidité du système; chaque oscillation serait alors détruite par les efforts de tension qui se développeraient dans les deux chaînes. Le rôle du tablier ne nous paraît pas non plus devoir être celui qu'on lui attribue en général. La plupart d'entre eux sont composés de poutres parallèles, qui contribuent, dans une large mesure, à accroître encore les inconvénients que nous venons de signaler; il serait certainement préférable de les remplacer par des poutres formant croisillons, toujours dans le but de décomposer l'effort causé par la surcharge, sur la plus grande longueur de chaîne possible. Enfin, pour des ponts à très grande portée, ce qui est le cas où les ponts suspendus sont appelés à rendre les plus grands services, la forme de la chaîne est d'une grande importance, et ce point ne nous paraît pas avoir été assez considéré jusqu'à ce jour. On a adopté, en effet, presque exclusivement, pour ces constructions, les câbles en fil de fer. Il est certain que, si ce genre de chaîne présente quelques avantages, tels qu'une plus grande résistance pour la même section, il offre aussi de graves inconvénients. Maintenant que l'usage croissant que les ingénieurs font du fer dans les grandes constructions a

effacé la plupart des préjugés qui ont écarté les fers laminés des ponts suspendus, il serait à propos d'examiner si d'autres considérations ne doivent pas, au contraire, les faire employer dans la construction des chaînes, de préférence aux câbles en fil de fer. Pour peu qu'on y réfléchisse, on se convaincra que la forme de la chaîne doit jouer un rôle considérable dans l'équilibre des ponts suspendus. Il est certain, en effet, qu'on obtiendrait encore une amélioration notable en employant des chaînes formées de tubes en tôle rivés, présentant une certaine hauteur, et par conséquent une grande résistance à la déformation dans le sens vertical.

En résumé, on peut dire que, dans la construction des ponts suspendus où se sont produits avec le plus de gravité les inconvénients qu'on est au premier abord tenté d'attribuer au système en lui-même, un grand principe d'art a été méconnu : c'est celui qui consiste à intéresser toujours à la fois la plus grande partie possible d'un ouvrage à la résistance. Nous croyons que l'ensemble des modifications que nous avons indiquées plus haut est vraiment propre à faire disparaître complètement les inconvénients et par suite les dangers des ponts suspendus, et qu'il serait à désirer qu'on ne se laissât pas trop tôt conduire à abandonner un système de construction dont la place est souvent marquée dans l'industrie de manière qu'il soit presque impossible de lui en substituer un autre. Nous devons ajouter que MM. Oudry et Cadiat ont établi à Castelfranc un pont suspendu dans la construction duquel ils ont réalisé quelques unes des indications précédentes. Quoique le système de leurs tiges de suspension en câbles de fils de fer soit loin de présenter les avantages des tiges de fer laminé, qu'ils n'aient pas fait usage d'une chaîne inférieure, et malgré l'emploi de chaînes en fils de fer, il paraît que ce pont se trouve déjà dans des conditions de stabilité notablement supérieures à celles de la plupart des constructions de ce genre.

Les ponts droits, c'est-à-dire formés de poutres droites, ne peuvent être qu'en bois ou en métal, et les premiers ne peuvent être considérés que comme des constructions provisoires, ou du moins d'une durée très restreinte. Arrivons de suite aux poutres métalliques.

Les métaux employés à la construction de ces ponts sont la fonte et le fer. La valeur relative de ces deux matériaux dépend beaucoup de l'importance de l'ouvrage. Pour des ponts à petite portée, la fonte peut être d'un excellent emploi ; elle est plus économique que le fer ; mais son application se trouve rapidement bornée par les exigences de la fabrication. La forme de ces poutres, en influant sur les conditions du moulage, a aussi une grande action sur la solidité des pièces, et c'est un des inconvénients les plus graves de la fonte que d'exiger, sous ce point de vue, la plus scrupuleuse attention dans le choix de la forme. Il faut qu'elle soit telle que le retrait se fasse avec facilité ; il faut éviter toute nervure transversale tendant à fixer plusieurs points de la pièce dans le sable, et, par conséquent, à développer dans son intérieur des tensions initiales qui modifient profondément les conditions de sa résistance ; les évidements, en empêchant la chaleur de se répartir uniformément, produisent également un effet nuisible, il faut enfin que la pièce présente une section aussi uniforme que possible ; car toute variation d'épaisseur, en déterminant une différence de rapidité dans le

refroidissement, amène une tendance à une espèce de décollement : c'est ce qui arrive, par exemple, dans une poutre à double T, sur la ligne de jonction de la paroi verticale avec la nervure horizontale, lorsque les épaisseurs de ces deux parties sont différentes. Malheureusement, même lorsqu'on a pris toutes ces précautions, qui sont trop souvent négligées, on ne peut guère arriver à une forme de poutres qui n'ait pas subi une certaine altération ; et lorsqu'on essaie des poutres faites dans les meilleures conditions, on trouve toujours que l'effort de rupture de la fibre la plus fatiguée est notablement moindre que celui sous lequel rompent les barreaux d'essai, qui, fabriqués dans de plus petites dimensions, ont mieux conservé les qualités du métal. La longueur des pièces, la surface qu'elles présentent, ont aussi sur leur résistance une influence notable. Une observation bien simple peut le démontrer : le retrait mesuré avec soin sur des poutres de 2 à 3 mètres étant de 10 millimètres, celui de poutres de 7 à 10 mètres, coulées dans les mêmes conditions et avec les mêmes fontes, n'est plus que de 8 millimètres. Nous pensons que 10 à 12 mètres est une longueur de poutres qu'il faut regarder comme un maximum qu'il importe de ne pas atteindre sans nécessité.

Au delà de ces dimensions, il faut faire des poutres en plusieurs pièces ; l'inconvénient qu'offre toujours un assemblage nous paraît alors devoir généralement faire abandonner les poutres de fonte pour les poutres de tôle ou de fer laminé.

M. E. Flachet, ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Germain, a fait sur le chemin de fer d'Auteuil une heureuse application de ponts en fonte et maçonnerie. Ces ponts ont, entre les culées, 7 mètres de largeur ; ils se composent de poutres de 8^m.50 de longueur sur 0^m.55 à 0^m.60 de hauteur, placées à environ 2^m.20 de distance, reliées par deux sommiers qui partagent en trois parties égales l'intervalle de 7 mètres qui sépare les culées et portant des voûtes, composées de deux anneaux de briques. Ces ponts sont très rigides et vibrent très peu, à cause de la masse de maçonnerie qui relie les poutres, et du poids considérable du pont par rapport à la surcharge. Si l'on réfléchit aux conditions auxquelles devaient nécessairement satisfaire les ponts d'Auteuil, on trouvera dans l'étude de ces ouvrages un exemple frappant des services que peuvent, dans certains cas, rendre les ponts métalliques. Le débouché du chemin d'Auteuil qui traverse tout Paris en déblais, est constamment limité, inférieurement, par le niveau de la Seine ; supérieurement, par le niveau de rues qu'on ne pouvait changer ou qu'on ne pouvait faire varier que très peu : il fallait donc absolument trouver un système de ponts qui prît, entre le sol de la chaussée et la surface de douelle, la moindre épaisseur possible ; or, les ponts du chemin de fer d'Auteuil ont une épaisseur totale de 0^m.80 ; ils offrent, de plus, un débouché rectangulaire, condition indispensable pour avoir partout la hauteur *minima* et qui exclue toute forme d'ares.

Les poutres en tôle sont éminemment propres aux grandes portées ; elles présentent, dans tous les cas, sur les poutres en fonte, des avantages notables : c'est une plus grande sécurité, tenant à l'homogénéité du métal et à la plus facile appréciation de sa valeur ; de se plier sans inconvénient à toute

espèce de forme, et, par conséquent, de permettre le choix de la plus avantageuse, sous le rapport de la résistance; les portées qu'elles peuvent franchir sont à peu près indéfinies; en un mot, elles sont plus propres aux ouvrages d'une certaine importance, où il faut réunir à la fois une grande résistance, les avantages de formes rationnelles et une légèreté relative.

Examinons maintenant les avantages présentés, en général, par les ponts droits, et communs, pour la plupart, aux ponts en fonte et aux ponts en fer.

1° La résultante des actions d'un pont à poutres droites sur les piles est toujours verticale, si l'on fait abstraction de la composante horizontale due au frottement produit par la dilatation des poutres; on peut, du reste, avec certaines précautions, rendre cette dernière force toujours négligeable.

Dans les ponts en arc, au contraire, les voûtes exercent des efforts obliques, dont l'intensité peut souvent varier notablement sous l'influence de surcharges un peu considérables. Il en résulte que les piles sont moins importantes dans le système des poutres droites que dans les autres.

La verticalité des actions exercées sur les piles par un pont à poutres droites est d'ailleurs d'un grand avantage lorsque ces piles sont hautes; il est clair, en effet, que, dans ce cas, une action horizontale peut prendre de suite une grande influence sur leur moment de stabilité.

2° Ces ponts permettent de réserver un débouché très grand et complètement indépendant de la portée des travées, avantage qui appartient aux seuls ponts métalliques. Nous indiquerons en effet, plus loin, les dispositions au moyen desquelles on peut les réaliser.

3° Ces ponts, donnant le moyen de franchir facilement des portées considérables, permettent de diminuer le nombre des piles, avantages qui, dans certains cas, peuvent être d'une grande valeur, soit que les fondations présentent des difficultés, soit qu'il importe de conserver le plus grand débouché possible.

4° Si une pile supportant un pont à poutres droites en tôle vient à subir un tassement ou un déversement, il est facile de remédier au mal en relevant le point d'appui des poutres; tandis que, dans les ponts en arc, les déformations, se propageant à toutes les arches, occasionnent des changements dans la valeur et le point de passage des résultantes des forces, qui ont pour effet d'exposer les matériaux à des efforts supérieurs à ceux qu'ils peuvent supporter, et d'amener souvent, dans l'ensemble d'un ouvrage considérable, les avaries les plus graves, par le mouvement d'une seule pile.

5° Enfin, ils présentent l'avantage, souvent inappréciable, de pouvoir être établis sous des voies existantes, sans qu'il soit nécessaire d'interrompre la circulation. Nous rappellerons, comme l'exemple le plus remarquable de la solution de ce problème, la construction des ponts de Clichy et d'Asnières, exécutés par M. E. Flachet dans des conditions qui eussent dû faire renoncer à une semblable tentative, si l'emploi des poutres en tôle n'avait permis de surmonter ces difficultés. Sans entrer dans le détail de ces travaux remarquables, nous nous contenterons de dire que le pont d'Asnières actuel a pu être substitué à un pont provisoire en bois, sous un chemin dont la circulation est, en moyenne, de sept trains par heure, sans que le service ait subi la moindre interruption sur une quelconque des trois voies portées par

le pont. Les poutres en tôle, amenées par fragments de 16 à 18 mètres de longueur sur place, furent montées, ajustées dans l'intérieur du pont en bois ; les pièces de pont et les voies du nouveau pont en tôle furent posées à un niveau inférieur à celles du pont provisoire, en sorte que, en quelques nuits, la circulation se trouva établie sur le pont en tôle, sans que, dans tout le cours de cette entreprise si délicate, qui a duré huit mois, un seul événement imprévu soit venu déranger l'ordre du travail ou compromettre un instant son succès. Il suffit, du reste, du peu de mots qui précèdent pour qu'il soit évident qu'il n'y avait qu'un pont à poutres droites, pouvant être transportées et montées par fragments, qui pût se prêter à cette substitution difficile.

Les avantages que nous venons de citer peuvent être considérés comme essentiellement propres aux ponts droits métalliques. Aucun autre système, en effet, ne les partage avec eux.

Les ponts en arc métalliques ont reçu, surtout en Angleterre, de nombreuses applications. Il faut distinguer dans ces ponts deux systèmes très différents : les ponts en arc proprement dits, et ceux qui sont connus en Angleterre sous le nom de bow-strings. Ces derniers se composent essentiellement d'un arc relié par sa corde.

Les ponts en arc, toutes choses égales d'ailleurs, sont le système le plus avantageux comme emploi de métal pour des ponts à une arche, c'est-à-dire que, dans les mêmes conditions de portée, un arc est plus avantageux, comme emploi de métal, que la poutre qui a pour hauteur la flèche de cet arc. Mais les ponts en arc entraînent rapidement à des constructions de culées dispendieuses, surtout si la portée est grande par rapport à la flèche. La composante horizontale de l'effort exercé par l'arc sur la culée croît, en effet, en rapport inverse de la flèche et en rapport direct du carré de la portée. Lorsque les conditions de débouché, etc., imposées pour la construction du pont, sont exigeantes et ne permettent qu'une flèche faible, on arrive donc rapidement à des efforts considérables, qui nécessitent des maçonneries d'un cube énorme, et dont l'exécution, de la plus grande importance pour la résistance du pont, présente souvent de grandes difficultés. Pour donner une idée de la valeur de ces forces, nous citerons l'exemple d'un pont en arc pour chemin de fer à deux voies de 75 mètres de portée, dont la flèche est de $1/15^e$, dont le poids par mètre courant est d'environ 12,000 kil., y compris les surcharges, et qui produirait sur les culées un effort d'environ 2,000,000 kil. Pour qu'un arc semblable ne puisse glisser sur le plan des naissances, il faut que le poids de maçonnerie qui pèse sur ces naissances soit environ 1,500^{mc}. Il est vrai qu'en continuant la voûte dans les culées, on peut quelquefois diminuer un peu leur profondeur ; mais on conçoit sans peine que ces ponts ne seront avantageux que dans des circonstances spéciales, tant sous le rapport de la qualité des terrains, que des ressources pour la construction des maçonneries.

Il existe pourtant des cas où ces ponts sont seuls possibles : ce sont ceux où l'on se trouve gêné pour les débouchés, le niveau du plan supérieur se trouvant en même temps invariablement fixé. Les ponts en arc permettent, en effet, d'employer à la clef une épaisseur excessivement faible, relative-

ment à leur portée ; il est également facile de donner au pont tout entier une courbure générale, surtout s'il s'agit de ponts établis sous une route, ce qui permet de gagner de la hauteur et peut offrir une grande ressource ; en un mot, si l'on suppose un pont qui, par des circonstances spéciales, telles qu'une trop grande largeur, ne puisse être construit au moyen de poutres en garde-corps, que le plan des naissances soit déterminé par la hauteur d'un chemin de halage au-dessus de l'étiage ; que le débouché soit imposé sous la clef, on pourra se trouver placé dans une circonstance où un pont en arc sera seul possible.

La seule condition qui détermine l'épaisseur à la clef est, en effet, que la section présentée par la pièce soit suffisante pour résister à la composante horizontale, et, grâce à la grande résistance du métal, cette condition conduit généralement à des dimensions de clef relativement très faibles.

Quant au métal à employer pour les ponts en arc, on peut faire usage de fer ou de fonte. Nous pensons que c'est le cas où, sous tous les rapports, la fonte sera employée avec le plus d'avantage. Elle résistera, en effet, entièrement à la compression ; il sera généralement facile de lui donner la forme de sortes de voussoirs qui pourront satisfaire aux conditions de dimensions et de formes imposées par la fonderie ; enfin, les assemblages de ces différentes pièces, faisant partie d'un système travaillant tout entier à la compression, se trouveront dans d'excellentes conditions de résistance. Nous croyons pourtant que pour des portées un peu considérables, l'emploi du fer présentera des avantages, surtout sous le rapport de la sécurité.

Sans entrer dans une étude trop spéciale de la forme qui convient à chaque système, que nous ne voulons pas aborder ici de crainte d'être entraîné trop loin, il est pourtant indispensable de dire quelques mots de la forme des arcs ; c'est une question trop intimement liée à leurs avantages ou à leurs inconvénients pour que nous puissions la passer sous silence.

On connaît des types assez variés de ponts en arc, depuis le pont célèbre de M. Polonceau jusqu'aux derniers ponts en fonte formés de voussoirs construits sur le chemin d'Avignon. On reproche à la plupart d'entre eux d'être très déformables sous l'action de charges non uniformément réparties, et de vibrer souvent de manière à donner des craintes pour leur résistance. On a cherché à remédier à ces inconvénients de différentes manières ; mais la meilleure certainement, c'est de donner à l'arc une grande hauteur, de façon que les déformations, qui tendent toutes à se produire dans le plan vertical, aient plus de peine à changer la courbure de l'arc, et de relier le tablier à l'arc par des tympans en croisillons, ou mieux pleins, qui, se trouvant attachés d'une part entre eux, et de l'autre à des points de l'arc qui subissent des déformations inégales, donnent naissance à des forces intérieures qui contribuent puissamment à détruire ces vibrations. Il est certain qu'une des causes principales des vibrations qui se font sentir sur le pont du Carrousel est due à ce qu'on a négligé cette précaution utile. Les ponts de M. Talabot, composés de voussoirs en fonte et formant par conséquent des tympans pleins, nous paraissent préférables.

Quelques ingénieurs ont imaginé aussi de faire des arcs composés de tubes cylindriques et de les emplir d'une substance lourde, telle que du béton

ou du bitume, se proposant, par là, un double but, d'empêcher les déformations du tube et de diminuer les vibrations en augmentant la masse du pont. Pour peu qu'on réfléchisse à un semblable moyen, on le trouvera bien irrationnel. Il est certain qu'il sera préférable de donner aux tubes une forme rectangulaire dans le sens vertical, de rendre le pont, pour ainsi dire, plus solide, en le déchargeant d'un poids inutile, et d'employer une portion du métal qu'il aurait fallu ajouter, eu égard à l'augmentation de la surcharge, à renforcer le tympan dans le sens que nous avons indiqué plus haut. La matière dont on aura rempli les tubes rectangulaires n'aura plus d'ailleurs aucune action quant à la conservation de la forme : car, s'il se produit une déformation, elle se fera de manière que la section enveloppée par le périmètre du tube s'approche du maximum, et dès lors la quantité de matière placée dans ce tube deviendra insuffisante. Nous croyons d'ailleurs qu'il ne faut pas se préoccuper outre mesure de vibrations dont l'amplitude n'atteint pas de trop grandes valeurs.

Enfin, ajoutons pour terminer avec les ponts en forme de tubes, qu'il est important qu'ils soient faits de manière que la plupart des rivets soient abordables extérieurement. Il arrivera souvent, en effet, qu'un pont en tôle étant construit et en place, il sera nécessaire de changer quelques rivets mal mis au chantier. Nous regardons comme une objection très grave au système des ponts à tubes que ce travail soit souvent impossible.

Comme ponts à plusieurs arches, les ponts en arc présentent un inconvénient qu'ils partagent avec les ponts en pierre : c'est que les piles doivent nécessairement faire culée. Dans certaines circonstances, telles que pour des viaducs élevés, cette condition peut conduire à des constructions onéreuses ; quant à négliger cette précaution, qui, en effet, n'est pas toujours remplie, il n'y faut pas penser, si on ne veut pas qu'un accident éprouvé par une arche compromette la solidité de l'ouvrage entier. Nous ne citerons à l'appui de cette observation que l'exemple du pont d'Asnières en arches de bois, dont la chute entière fut provoquée par l'incendie d'une arche : les poussées n'étant plus détruites sur les piles, ces dernières se renversèrent successivement, et le pont entier s'écroula.

Les efforts inégaux qui proviennent de l'action de surcharges non uniformément réparties, surtout lors du passage des trains, sur les ponts de chemins de fer ; les dilatations inégales qui peuvent se produire d'une arche à l'autre par l'action de la chaleur, peuvent causer aussi, sur ces ponts, des effets fâcheux, en donnant naissance à des composantes horizontales dont la valeur peut être considérable, et qui, agissant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, déterminent dans la maçonnerie des piles des mouvements qui modifient l'équilibre du pont. A la vérité, on a construit en Angleterre des ponts en fonte et en arc dont les piles, à partir des naissances, sont en fonte et font partie de l'arc ; mais, à moins que le pont n'ait une masse considérable, ce système présente le grave inconvénient de permettre aux vibrations de se transmettre d'une arche à l'autre, ce qui est très dangereux ; l'exemple du pont des Arts suffit à faire sentir parfaitement l'inconvénient que nous signalons. On peut dire généralement que les ponts droits à poutres continues sont préférables dans le cas de plusieurs travées.

Les bow-strings sont, comme nous l'avons dit plus haut, des ponts en arc dans lesquels la composante horizontale est équilibrée par l'action d'un tirant.

Ces ponts sont désavantageux sous le rapport de l'emploi du métal, si on les compare à une poutre droite ayant pour hauteur la flèche du bow-string. Si l'on néglige dans le bow-string les tympan, et dans la poutre la paroi verticale, on peut, en effet, démontrer facilement que l'avantage en faveur de la poutre est proportionnel à la différence de l'aire d'un segment parabolique au rectangle circonscrit, c'est-à-dire d'un tiers du métal, pour la même résistance. Il ne faudrait pourtant pas, pour cette raison, se hâter de proscrire d'une manière absolue l'emploi des bow-strings. Il est certain, en effet, que ce système ne peut supporter les comparaisons avec une poutre dans les limites de hauteur les plus favorables pour les poutres droites, c'est-à-dire environ $1/12^e$ ou $1/13^e$ de la portée; mais, si l'on donne au bow-string une hauteur beaucoup plus considérable, telle que le double de celle qui convient à la poutre, on place l'arc dans des conditions de flèche très favorables; et si on voulait construire une poutre de même hauteur, l'augmentation de la partie verticale, les consoles nombreuses qui seraient nécessaires pour empêcher le voilement et qui ne sont pas comprises dans l'évaluation donnée plus haut, diminueraient beaucoup l'avantage relatif de la poutre; il est vrai que dans ces circonstances les bow-strings participent dans une grande mesure des inconvénients qu'on reproche aux ponts suspendus: ce sont des poutres déformables qui doivent vibrer facilement et qui ont même de plus cet inconvénient, que l'arc résistant à la compression et remplaçant la chaîne du pont suspendu est dans un équilibre instable. Si ces inconvénients ne sont pas très sensibles sur les ponts de ce système actuellement établis, nous croyons qu'il faut l'attribuer à ce que, ces ponts ayant pour la plupart de très grandes portées, leur masse est considérable par rapport aux surcharges qu'ils ont à supporter; mais alors on peut affirmer qu'ils ne sont pas économiques. Nous regardons donc ce système comme de ceux qu'il ne faut pas généralement imiter.

Nous n'avons à parler ici des ponts en pierre que sous le rapport des circonstances dans lesquelles leur emploi doit être préféré à celui des ponts métalliques; il nous semble que ces circonstances doivent, d'après ce qui précède, être nettement définies. On peut dire, en effet, que toutes les fois qu'on n'aura pas à résoudre un problème de construction présentant une des difficultés que nous avons énoncées plus haut, telles que les conditions de portées, de débouchés, etc., et dont la solution facile caractérise les différents systèmes de ponts métalliques, le pont en pierre devra être préféré; il a, d'ailleurs, sur les ponts métalliques un avantage incontestable, celui de n'exiger aucun entretien.

En résumé, nous pensons qu'en se fondant sur les considérations que nous venons d'exposer, on peut formuler de la manière suivante les avantages caractéristiques des différents systèmes de ponts:

1° Les ponts métalliques devront être préférés aux ponts en pierre toutes les fois qu'on aura à franchir de grandes portées, que l'on voudra obtenir le

plus grand débouché possible, qu'on aura des raisons pour chercher à diminuer les points d'appui et l'importance de ces points d'appui; qu'il faudra construire un pont sous des voies existantes sans interrompre la circulation.

2° Parmi les ponts métalliques, la forme en arc devra être préférée aux poutres droites, pour les ponts à une arche, toutes les fois qu'on pourra faire des culées dans de bonnes conditions. Sous le rapport du débouché, le pont droit a l'avantage de donner une hauteur constante dans toute la section; mais l'arc peut encore être préférable, sous ce rapport, s'il s'agit d'obtenir le débouché sur une certaine largeur seulement: par exemple, l'un pourrait mieux convenir à un chemin de fer, l'autre au passage d'une rivière, surtout si la portée est considérable.

Enfin, pour les ponts à plusieurs travées, on peut dire que presque toujours les ponts droits seront préférables: car il sera rare qu'un des inconvénients que nous venons de signaler comme appartenant aux ponts en arc à plusieurs travées ne se présente pas de manière à en faire rejeter l'emploi.

Il nous reste à passer également en revue les systèmes principaux de ponts droits dont on a fait usage jusqu'à ce jour. Ils sont nombreux, et doivent être divisés en deux catégories, suivant que le pont est destiné à un chemin de fer ou à une route.

Nous nous occuperons plus spécialement des ponts à deux poutres formant garde-corps, qui résument généralement les plus grandes difficultés. On peut, dans ces ponts, placer les poutres en garde-corps ou sous les voies. La première disposition a l'avantage de permettre le choix le plus avantageux de la hauteur de la poutre: il sera donc généralement préférable pour les grandes portées; de plus, c'est lui qui donne le plus grand débouché, car, en plaçant les pièces de pont (1) qui soutiennent les voies à la partie inférieure des poutres, l'épaisseur du pont comprise entre le rail et le dessous de la poutre ne se compose que de la hauteur du rail et de la pièce de pont. Pour un pont de chemin de fer à deux voies, la largeur du pont d'axe en axe des poutres variera, suivant les obligations imposées par le cahier des charges, entre 8^m et 8^m.50, et, dans ce cas, des pièces de pont de 0^m.35 à 0^m.40 de hauteur peuvent être employées suivant la distance à laquelle on les place; pourtant une hauteur plus considérable de 0^m.50 à 0^m.60 est plus avantageuse; on voit de plus que, comme nous l'avons dit plus haut, le débouché est, dans ce système, indépendant de la portée, ce qui ne peut avoir lieu dans les ponts en pierre. Le pont du Languedoc, sur le chemin de fer de Bordeaux à Cette, est construit dans le système des ponts à garde-corps.

On peut aussi employer trois poutres en en plaçant une dans l'entre-voie. Cette disposition, qui paraît au premier abord être avantageuse, à cause de la plus grande symétrie de la position de la charge par rapport aux poutres, ne devra pourtant pas être employée pour des poutres à grande portée, et elle entraîne, en effet, à une plus grande largeur de pont, en sorte que, si

(1) Nous appelons pièces de pont les pièces transversales qui relient les grandes poutres aux fermes du pont et servent à soutenir les voies ou la chaussée.

d'un côté elle donne quelque avantage sous le rapport des pièces de pont, puisqu'elle diminue leur portée de moitié, de l'autre côté elle augmente leur longueur totale, ainsi que celle des piles. D'ailleurs, lorsque les portées deviennent un peu grandes, elle est désavantageuse, parcequ'elle ne permet pas d'employer, pour les poutres de tête, une hauteur suffisante; sans quoi, si l'on voulait faire varier la section des nervures horizontales, comme l'indique la loi de variation des moments de résistance, on serait conduit à des épaisseurs trop minces, qu'il faut rejeter en pratique. Il en résulte que la proportion de métal employée en paroi verticale, c'est-à-dire dans des conditions désavantageuses, devient plus considérable par rapport au poids total; d'ailleurs, l'inconvénient qu'on peut reprocher à la première disposition, de charger les poutres inégalement, perd son importance si l'on remarque que, pour que ces poutres travaillent au coefficient maximum, il faut que deux trains passent à la fois sur le pont. Il n'en est pas moins vrai qu'il est nécessaire d'adopter un système de pièces de pont qui relie assez bien les deux poutres pour qu'il leur soit impossible de se rapprocher.

Dans des ponts de cette nature on est libre de placer les voies à une hauteur quelconque de la poutre. Quelle est celle qui convient le mieux? Il est évident que, sous le rapport de la stabilité, c'est à la partie inférieure des poutres qu'il faudra les placer. On conçoit, en effet, que plus on élève les pièces de pont et plus on met de distance entre la surcharge en mouvement et le plan de pose sur les piles, plus, par conséquent, les oscillations horizontales prendront d'intensité.

Si, d'ailleurs, on considère l'équilibre de la poutre entière au milieu d'une travée, en supposant la poutre parfaitement fixée aux points d'appui, la charge placée à la partie supérieure de la section descend en oscillant à droite et à gauche de la position qu'elle doit occuper, et, par conséquent, c'est la rigidité des poutres qui la ramène en place; tandis que, lorsqu'elle est à la partie inférieure, en oscillant elle s'élève, et tend, par conséquent, à revenir à sa position normale par son propre poids.

Au pont du Langon, on a placé les voies au milieu des poutres: cette disposition présentait l'avantage de pouvoir profiter de toute la demi-hauteur de la poutre pour la pièce de pont, c'est-à-dire de relier les deux poutres de manière à rendre invariable leur position relative. Nous regarderions comme une excellente disposition de placer les voies à la partie inférieure de la poutre, et, lorsque la hauteur le permet, de relier, par un contre-ventement solide, soit en fer, soit en fonte, la partie supérieure des poutres. Au pont du Langon, où les poutres ont 5 mètres de hauteur, cette disposition eût été également possible.

Les ponts où les poutres sont placées sous les voies ne peuvent être d'un emploi aussi général que ceux-ci: ils donnent évidemment moins de débouché; par conséquent, dans certains cas, ils peuvent ne pas permettre de choisir la hauteur de poutres la plus convenable; de plus, les voies sont placées à la partie supérieure, ce qui, pour des poutres à très grandes portées, est une cause d'instabilité. Enfin, la multiplicité des poutres augmente la proportion des parois verticales; mais lorsque les portées ne sont pas trop grandes, lorsque le débouché est libre, lorsque la largeur du pont ne

permet pas d'employer le système de poutres en garde-corps, ou de poutres intermédiaires débordant les voies, sous peine d'augmenter outre mesure la largeur du pont, les incon vénients que nous venons de citer disparaissent en grande partie, et, à l'aide des dispositions accessoires, peuvent être complètement éliminés. L'exemple du pont d'Asnières est certainement une application de ce système dans les circonstances les plus heureuses où il puisse être employé; le débouché est plus que suffisant; le pont étant à quatre voies, l'emploi de poutres intermédiaires aux voies aurait accru la largeur de plus de 5 mètres, ce qui eût augmenté d'un tiers environ la longueur des piles. D'ailleurs, la position des voies à la partie supérieure des poutres, qui, comme nous l'avons dit, présente peu d'inconvénients pour un pont de 32^m de portée, a permis de profiter de toute la hauteur des poutres pour les relier l'une à l'autre, ce qu'on a fait au moyen de croix de Saint-André reproduites de 4^m en 4^m. Ce pont, ainsi relié, a présenté un système tellement uni, un ensemble si rigide, que, lorsqu'il passe un train sur une voie, les diagrammes des oscillations produites n'ont jamais accusé une flexion de 0^m.003, tandis que la flexion théorique devrait être à peu près de 0^m.010. Cette circonstance tient à ce que les pressions exercées sur les poutres qui portent les voies, lors du passage du train, sont reportées, par le moyen des croix de Saint-André, sur les poutres voisines, et qu'en réalité le pont ne travaillera jamais au coefficient pour lequel il a été calculé que lorsque quatre trains le traverseront à la fois. Il est certain que, dans les circonstances où ce pont est placé, tout autre système eût présenté moins d'avantages.

Il nous reste à citer un système de ponts bien célèbres par l'admirable application qui en a été faite en Angleterre par Stephenson : nous voulons parler des ponts-tubes. Tout le monde connaît, en effet, les ponts de Menai et de Conway, dont la construction a révélé les immenses ressources que l'art pouvait trouver dans l'emploi des ponts en tôle. En mettant de côté ces magnifiques ouvrages construits dans des conditions rendues toutes spéciales par les difficultés sans nombre qu'il fallait surmonter, tant dans la construction que dans le montage, il est permis de douter que ce système trouve dans la suite beaucoup d'imitateurs. On sait, en effet, que le pont de Menai se compose, à proprement parler, de deux ponts séparés, livrant passage chacun à une voie. Il paraît certainement plus logique, en général, d'intéresser l'ouvrage entier à la fois à ce travail, et cette condition peut se trouver remplie par un pont à poutres en garde-corps. Un pont de ce système dans lequel les voies se trouveraient à la partie inférieure, dont les poutres seraient contreventées à la partie supérieure, n'est d'ailleurs autre chose que le pont-tube de Stephenson embrassant les deux voies à la fois et économisant deux parois verticales.

Nous terminerons cet exposé rapide en disant quelques mots de la forme des poutres employées dans la construction des ponts droits; on peut les ranger en deux grandes classes : les poutres à simple et à double paroi.

Pour les poutres d'une grande hauteur, c'est-à-dire correspondant à de grandes portées, les poutres à parois simples sont évidemment préférables; elles ne permettent pourtant que des nervures horizontales d'une largeur

assez restreinte, si l'on ne veut pas laisser une trop grande largeur de tôle abandonnée en porte-à-faux sur la paroi verticale; il en résulte que, lorsqu'on arrive à des hauteurs considérables, la largeur de ces poutres étant très mince par rapport à la longueur, on se trouve, au point de vue du voilement, dans des conditions défavorables, et c'est alors qu'il devient fort important de relier intimement ensemble les différentes poutres d'un pont. Malheureusement, il manque sur ce point une série d'expériences très intéressantes et très utiles pour déterminer la largeur de nervure horizontale que l'on peut mettre sur une paroi verticale, sans que l'hypothèse, qui est le fondement de la résistance, que, dans une tranche parallèle à l'axe neutre, toutes les fibres travaillent au même coefficient, cesse d'être vérifiée. Du reste, cette largeur dépend évidemment de l'épaisseur de la nervure horizontale; nous croyons que, dans les conditions ordinaires, il ne faut pas lui donner plus de 0^m.40 à 0^m.60 de largeur. Au pont d'Asnières, où les poutres sont placées dans l'entre-voie et où il importait de profiter, pour la poutre, de toute la largeur disponible, cette nervure horizontale a 1^m; mais il y a deux parois verticales.

Les poutres tubulaires, sur de grandes dimensions, présentent l'inconvénient d'avoir deux parois verticales et une section déformable, surtout sous l'action de charges dont la résultante ne passe pas dans l'axe des poutres et sous laquelle elles tendent à prendre une forme parallélogrammique. Cet inconvénient peut être évité au moyen d'un surcroît de métal employé en goussets dans les angles, en cadres prenant intérieurement la forme de la paroi. Au pont d'Asnières, ces précautions ont été prises avec le plus grand soin; on a même mis à la partie supérieure et inférieure du tube des bandes de tôle qui le traversent complètement et le transforment en un rectangle dont les angles sont absolument invariables. La petite dimension de ces poutres n'a pas rendu ces dispositions trop coûteuses.

On emploie beaucoup en Angleterre des poutres dont les parties supérieures et inférieures sont formées de sorte de tubes, soit rectangulaires, soit cylindriques. Cette forme peut être imitée dans certains cas; nous croyons pourtant qu'il est nécessaire de ne jamais perdre de vue deux conditions importantes: 1^o que les cellules doivent toujours être construites de façon que le plus grand nombre de rivets possible soient abordables; 2^o que la paroi verticale doit traverser les cellules dans toute leur étendue, de manière à produire entre les portions supérieures et inférieures une liaison intime; ce qu'on a souvent négligé à grand tort dans les poutres faites en Angleterre. Il paraît, du reste, évident que ces poutres, à moment d'inertie égal, résisteront mieux qu'une poutre en double T lorsqu'elles atteindront des dimensions un peu considérables; elles sont beaucoup moins sujettes au voilement qui, dans ces poutres, précède toujours la rupture.

Enfin, on a fait en Angleterre beaucoup de poutres connues sous le nom de poutres latices: ce sont des poutres généralement en forme de double T, dont la paroi verticale est formée de treillis plus ou moins serrés, en fers plats ou à nervures. Ces poutres, d'une construction simple, certainement économique et rationnelle, sont jugées très diversement et se répandent moins qu'on ne pourrait le croire. Le reproche le plus fondé qu'on puisse

leur faire est que la paroi verticale, composée de fers séparés, est moins bien reliée avec les nervures horizontales que dans une poutre à paroi pleine dont la rivure est continue sur toute la longueur de la poutre. Cette objection nous paraît pourtant plus spécieuse que sérieuse. Il est certain qu'on pourra former une poutre de deux simples T en tôle, et donner aux branches verticales de ces T une hauteur suffisante pour qu'en les réunissant par une latices la poutre ainsi formée soit reliée par un nombre de rivets plus que suffisants pour l'effort supporté par chaque tige de latices. Nous pensons donc que l'on reviendra à ces poutres, qui, dans un certain nombre de cas, peuvent rendre de grands services par leur légèreté relative, la simplicité de leur construction, l'économie résultant de la substitution presque complète du fer du commerce à la tôle, et dont, à dire vrai, le plus grand inconvénient est de ne pas présenter un aspect agréable, inconvénient peu important dans des ouvrages dont la beauté consiste certainement dans l'emploi le plus rationnel du métal.

On donne généralement aux poutres une certaine cambrure; il est bien entendu que, comme on n'introduit pas de forces horizontales, cette cambrure n'a aucune influence sur la résistance de la poutre, et n'a d'autre but que de faire paraître la poutre droite lorsqu'elle est en place. C'est d'ailleurs une difficulté de construction assez grande qui n'a d'importance que pour l'aspect du pont.

Nous nous bornerons à ces indications générales. Nous savons bien que beaucoup d'entre elles auraient exigé des développements plus considérables. L'étude détaillée de chacun des systèmes que nous avons rapidement examinés sous le seul rapport de leurs caractères les plus frappants est un champ assez vaste pour mériter une attention spéciale; mais ces questions de détail, par cela seul que les conditions particulières des applications ont trop d'influence sur leur solution, perdent beaucoup de leur intérêt dans une discussion générale. C'est pour la même raison que nous nous sommes abstenus de parler des méthodes de calcul de ces différents systèmes; outre qu'il faudrait, pour les exposer, entrer dans des développements un peu longs, le calcul d'un pont métallique n'est qu'une portion secondaire du problème. Ce calcul n'offre d'ailleurs pas de grandes difficultés et ne doit être abordé que lorsqu'on est fixé sur le côté principal de la question : le choix du système qu'il est le plus convenable d'adopter.

SÉANCE DU 20 OCTOBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

Il est donné communication d'une note de M. Grenier, membre de la Société, relative au pont en fer et fonte établi sur la Harper pour le passage du chemin de fer de Baltimore à Ohio (Etats-Unis d'Amérique).

Les premiers ponts à poutres droites ont été construits aux Etats-Unis d'Amérique ; ce système y était répandu avant qu'on eût songé à l'appliquer en France et en Angleterre à la construction de ponts d'une grande portée : aussi rencontre-t-on sur les nombreux chemins de fer dont ce pays est sillonné une foule d'ouvrages qui présentent des applications remarquables de ce mode de construction.

On se rend facilement compte de cette préférence accordée aux ponts à poutres droites par des ingénieurs américains. Les difficultés qu'a dû présenter le passage de fleuves larges et rapides dont les fortes crues nécessitaient des ouvrages à grand débouché, et surtout le prix élevé des maçonneries, sont des circonstances qui eussent conduit partout ailleurs aux mêmes résultats.

Le bois, d'abord exclusivement employé à cause de son bas prix, a fait place au fer depuis quelques années. Lorsque le grand pont du Saint-Laurent sera terminé, les Américains n'auront rien à envier sous ce rapport aux autres pays ; cet ouvrage se composera d'une arche centrale de 330 pieds (99^m) d'ouverture et de vingt-quatre arches latérales de chacune 242 pieds (72^m.20).

Parmi les nombreux ponts droits en métal que l'auteur de cette note a pu examiner l'année dernière en traversant les différents Etats de l'Union, il en est un qui mérite particulièrement de fixer l'attention par la nouveauté de son principe et l'heureuse combinaison du fer et de la fonte employés simultanément dans sa construction.

C'est le pont jeté sur la Harper pour le passage du chemin de Baltimore à Ohio. Il se compose de deux fermes de rive auxquelles est suspendu un tablier en charpente, et qui sont reliées entre elles à leur partie supérieure par un réseau de pièces d'écartement et de contrevents, au dessous duquel peuvent librement circuler les trains.

Chaque ferme est composée de deux parties distinctes :

- 1° Un système de chaînes de suspension ;
- 2° Un tube rectiligne en fonte formant le membre supérieur, et dont les extrémités, posées sur des piliers en granit, reçoivent les amarrages des chaînes de suspension.

Ce tube a reçu le nom de *stretcher*.

Ce qui caractérise le système de suspension, c'est qu'il n'est pas déformable ; il est composé de barres droites unissant séparément les deux extrémités du *stretcher* à chaque point d'attache du tablier, et qui transmettent directement ainsi aux points d'appui les surcharges ou les forces vives dues aux vibrations.

Outre les pièces d'écartement et contrevents obliques qui s'opposent aux déformations du *stretcher* dans le plan horizontal, cette pièce est maintenue verticalement par de légères colonnettes en fonte qui correspondent aux points d'attache du tablier.

Le système de la ferme est complété par de légères croix de Saint-André en fer coupant en diagonales les panneaux figurés par les colonnettes en fonte ; ces croix de Saint-André s'opposent aux mouvements ascensionnels

que pourraient produire les vibrations, et pourraient servir de pièces de secours en cas de rupture d'une chaîne de suspension.

Le stretcher est divisé en tronçons dont les joints reposent sur les colonnettes; l'assemblage est à manchon, et les surfaces sont légèrement arrondies, afin que les flexions de la ferme n'exposent le stretcher à aucun effort transversal.

Plusieurs considérations importantes peuvent être indiquées en faveur de ce système.

L'emploi simultané du fer et de la fonte dans les meilleures conditions de résistance particulière à chaque métal est le problème que s'est proposé l'auteur du pont sur la Harper; nous pensons qu'il l'a complètement résolu.

Dans son système, en effet, toutes les parties travaillent également et peuvent éprouver séparément les variations de longueur que comportent leur élasticité et leur dilatabilité respectives.

Ce résultat ne saurait être obtenu avec des poutres mixtes à âme pleine ou en *lattice* assemblées d'une manière rigide à un membre supérieur en fonte et à un membre inférieur en tôle; il est évident alors qu'on ne réalise pas l'homogénéité des fibres, hypothèse fondamentale pour le calcul de la résistance des poutres à la flexion.

Nous croyons encore utile d'insister sur les avantages de la figure rectiligne du stretcher.

Des expériences sur le viaduc du Rhône et sur celui de Nevers, publiées récemment dans les *Annales des ponts et chaussées*, ont établi que les arcs en fonte éprouvent, par suite des variations de température, des flexions souvent beaucoup plus considérables que celles qui résultent du passage des trains. Cette cause d'altération, dont l'importance augmente avec la flèche ou avec la hauteur donnée à la section transversale de l'arc, oblige de réduire à un chiffre très faible le coefficient de la sécurité de la fonte employée dans ces conditions.

Les bow-strings participent à un moindre degré de cet inconvénient.

Mais il n'en est pas de même du stretcher, dont les extrémités posées sur des rouleaux peuvent éprouver tous les mouvements que comportent les variations de température.

Enfin, en ce qui concerne le système de suspension, les nombreux avantages qu'il présente sur les systèmes paraboliques peuvent se résumer en peu de mots :

1° Il n'est pas déformable, et on peut sans inconvénient lui donner la flèche qui conduit au moindre poids de métal.

2° Toutes ses parties travaillent également, tandis que dans une chaîne parabolique la tension des extrémités dépasse notablement celle du sommet.

3° Chaque poutrelle ou pièce de pont étant soutenue par un système de suspension indépendant, les ruptures d'une ou plusieurs chaînes ne sauraient avoir de conséquences graves.

4° La suppression des tiges verticales et obliques doit largement compenser le léger excédant de poids que peut présenter l'ensemble des chaînes.

5° Enfin, les vibrations n'ont pas plus d'influence sur ce pont que sur un pont de même masse formé de poutres en tôle.

Le pont de Harpers-Ferry a 124 pieds de portée, soit 37^m.82 ; la hauteur des fermes est de 22 pieds (6^m.60). Le poids du fer et de la fonte ne dépasse pas 48,000 livres, ou environ 21,792 kil. ; ce n'est pas plus de 570 kil. par mètre courant.

Voici les bases admises pour le calcul d'une ferme :

Poids du fer et de la fonte.	24,000chs	(108,820k).
Charpente	15,000	{ 6,807 }.
Surcharge.	209,000	{ 94,764 }.

Total 248,000chs (210,391k).

On a pris pour coefficient de sécurité du fer le chiffre de 16,000 chs par pouce carré, ce qui correspond à 11 k. 60 par millimètre carré ; la résistance absolue du fer s'élevait à 80,000 livres (38 kil.). Le chiffre 11 k. 60 devrait donc être réduit, si l'on n'avait à sa disposition que des fers d'une résistance absolue de 32 à 35 kil., comme ceux qu'on emploie en France. Pour rester dans les mêmes conditions, il conviendrait alors de ne pas dépasser 6 à 7 kil.

Le pont de Harpers-Ferry a été soumis à des épreuves nombreuses dirigées par sir Williams Pasker ; nous nous bornerons à en citer une :

Le 1^{er} juin 1852, trois machines du plus fort tonnage, avec leur tender, furent lancées sur le pont, dont elles occupaient toute la longueur ; le poids total de la surcharge atteignait 273,550 chs (124,033 k.), ou 32 k. 80 par mètre courant ; à la vitesse de 8 milles (12 kil. 9) par heure, la flèche ne dépassa pas 1 p. 3/8 (0^m.0344).

L'ouvrage remarquable que nous venons de décrire a été construit par sir Wendel Bollmann, ingénieur civil.

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion sur la note de M. Molinos, relative à la construction des ponts suspendus.

UN MEMBRE pense qu'il y a une certaine exagération à considérer les ponts suspendus actuels comme dangereux ; il dit qu'on ne peut nier que des progrès importants n'aient été réalisés dans la construction de ces ponts. Dans l'origine, les flèches des chaînes étaient de beaucoup plus considérables ; il en résultait une plus grande facilité pour le développement des oscillations. Depuis, on a beaucoup diminué les flèches ; on a également donné de la rigidité au tablier en construisant des garde-corps en forme de poutres américaines.

L'auteur de la note répond que ces améliorations sont insuffisantes, et que la preuve en est dans le rôle tout à fait secondaire qu'on est forcé d'attribuer maintenant aux ponts suspendus ; les moyens cités ne sont pas assez radicaux et ne remédient pas au mal dans sa source même. Il insiste sur ce point, que les applications actuelles des ponts suspendus ont complètement détourné l'attention des ingénieurs sur leur véritable but ; il cite à l'appui de son opinion l'exemple des bow-strings anglais, qui offrent avec les ponts suspendus une analogie frappante au point de vue mécanique. Ces

ponts ne sont pas en effet autre chose que des ponts suspendus dans lesquels la chaîne est un arc travaillant à la compression, c'est-à-dire dans des conditions très défavorables, puisque c'est le cas d'un équilibre instable, et où l'action des culées est remplacée par un tirant. Cependant ces ponts sont parfaitement propres au passage des chemins de fer. On peut donc affirmer qu'un pont suspendu, construit avec les précautions qu'il signale, pourrait, à plus forte raison, être appliqué aux mêmes usages avec la même économie de métal et des conditions de stabilité supérieures.

UN MEMBRE fait observer que, pour les ponts droits, on doit proscrire le bois de ces constructions, et que l'exemple des ponts du chemin de fer de Rouen est propre à démontrer qu'ils ne peuvent avoir une durée suffisante.

Il est d'accord avec les auteurs de la note sur le rôle qu'on doit attribuer à la fonte : il pense qu'on ne doit l'employer que pour des portées très faibles ; il regarde même la limite de 10 à 12 mètres indiquée dans la note comme trop considérable.

L'auteur de la note répond que cette limite dépend en effet des précautions employées pour la fonte des pièces. Quelques ingénieurs anglais, M. Fairbairn entre autres, indiquent une limite encore plus éloignée de 15 à 16 mètres. Il rappelle des expériences nombreuses faites par M. Vivaux sur l'influence de la forme des poutres en fonte, sur leur résistance, et dont les résultats sont d'accord avec l'opinion qu'il a émise : les limites de longueur admises par M. Vivaux sont les mêmes que celles qu'il indique.

On ajoute qu'il n'est pas étonnant que les ingénieurs anglais aient reculé cette limite ; les principaux inconvénients résultant de la fonte tiennent en effet au retrait, et celui de la fonte anglaise est moindre que celui de la fonte française.

On croit néanmoins qu'il faut éviter autant que possible d'employer la fonte dans les chemins de fer pour les passages en dessous.

M. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, invité à assister à la séance, fait remarquer qu'elle doit être alors également condamnée pour les passages en dessus, car le passage d'une voiture fait éprouver à un pont des oscillations plus grandes que celles qui sont causées par un train.

Pour les ponts en tôle, on fait observer que la principale objection qu'on leur a faite en France est la détérioration possible des rivets.

UN MEMBRE fait remarquer que cette opinion ne préoccupe pas autant en Angleterre qu'en France. La date des ouvrages de ce genre établis en Angleterre est encore trop récente pour qu'on puisse avoir à ce sujet une opinion très arrêtée par des observations directes. Pourtant il ne s'est présenté aucun fait qui puisse tendre à faire croire que cette objection soit fondée.

SÉANCE DU 3 NOVEMBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. GRENIER, membre de la Société, donne communication d'un voyage qu'il a fait aux Etats-Unis d'Amérique, et qui avait pour but d'étudier la question des chemins de fer dans ce pays ; il remet un mémoire dans lequel il traite :

- 1° Des difficultés à vaincre pour l'établissement des chemins de fer ;
- 2° De l'avancement des travaux, des lignes exploitées et des lignes qui d'ici à peu d'années seront livrées à la circulation ;
- 3° Du prix de revient des différents chemins par kilomètre ;
- 4° De leur trafic ;
- 5° Des travaux d'art et de leur prix de revient ;
- 6° Du matériel fixe et du système des voies ;
- 7° Du matériel roulant.

M. LE PRÉSIDENT remercie **M. Grenier** de sa communication, et annonce que le mémoire sera publié dans un de nos prochains bulletins.

UN MEMBRE demande sur quelles bases d'évaluation ont été dressés les différents prix de revient cités par **M. Grenier** dans son mémoire. C'est, dit-il, un élément essentiel à connaître si l'on veut, par exemple, établir des rapprochements entre ces prix et ceux correspondants de France, à cause de la grande différence qui existe entre ces deux pays dans les prix de main-d'œuvre et dans ceux des matières premières.

M. GRENIER répond que les prix qu'il a cités sont simplement le résultat de la conversion des prix américains en francs d'après la valeur au pair des monnaies des deux pays. Il fera connaître dans la prochaine séance divers renseignements qui permettront de faire les rapprochements indiqués. Il se propose également d'ajouter une statistique des accidents.

M. LE ROY, membre de la Société, donne lecture d'une note qu'il vient d'offrir à la Société sur le viaduc de Saltash, en construction près du port de Plymouth.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur le mémoire de **MM. Molinos** et de **Dion** sur le choix à faire des divers systèmes de pont.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que la discussion doit porter sur la question des ponts en arc à une seule arche. Quant à lui, il donne, en général, dans ce cas, la préférence à l'emploi de la fonte sur le fer.

M. MOLINOS dit qu'il croit, en effet, que les ponts en fonte sont très bons dans ce cas, mais avec cette réserve que le tablier soit relié à l'arc par des tympans en croisillons, ou mieux pleins. **M. Talabot** a fait quelques ponts composés ainsi de voussoirs pleins pesant chacun 4000 kil. environ. Dans

le pont Polonceau, au contraire, l'arc et le tablier sont reliés au moyen d'anneaux qui n'offrent que quelques points de contact : aussi ce pont est-il sujet à une grande déformation.

M. POIRÉE, ingénieur des ponts et chaussées, invité à assister à la séance, répondant à l'objection faite au système de construction du pont Polonceau, dit que ce pont a parfaitement atteint le but que s'était proposé **M. Polonceau**, qui voulait beaucoup d'élasticité pour un pont en fonte destiné à supporter de faibles charges. **M. Poirée** ajoute que jusqu'à présent ce pont se comporte bien, et qu'aucun dérangement particulier n'est venu infirmer l'opinion de **M. Polonceau**.

On fait observer également que des vibrations considérables ont été éprouvées sur de certains ponts en fonte du chemin de fer du Nord et du chemin de fer de Montereau, et que le système de construction de ces ponts est analogue à celui du pont Polonceau. Sur le chemin de fer de Strasbourg, le même effet a eu lieu sur certains ponts, quoique construits sur un système différent ; sur l'embranchement de Metz, au contraire, les ponts offrent une grande rigidité ; mais aussi, dans ces ponts, les tympanes sont rigides et solidaires de l'arc et du tablier, et sur ce point on partage complètement l'opinion émise par **M. Molinos**.

M. POIRÉE émet l'avis que, pour les chemins de fer, la rigidité des ponts est meilleure à cause des fortes charges ; mais que peut-être il n'en est pas de même pour les ponts qui ne doivent recevoir que de faibles charges.

M. MOLINOS répond qu'il sera préférable, dans tous les cas, d'éviter les fortes vibrations ; il en est des ponts en fonte, à cet égard, comme des ponts suspendus. Il objecte à l'emploi de la fonte pour la construction des ponts en arc à grande portée d'abord l'incertitude sur la bonne qualité des pièces provenant des difficultés de fonderie, en raison des formes et des dimensions auxquelles on est alors conduit, ensuite la trop grande multiplicité des assemblages.

M. POIRÉE demande s'il ne conviendrait pas aussi d'avoir égard à la durée des ponts en fonte, qui paraît plus certaine que celle des ponts en fer.

M. MOLINOS répond que, quant à présent, on n'a encore d'exemples que de la destruction de ponts en fonte ; il est vrai de dire que ces ponts avaient des dispositions vicieuses. Il pense, d'ailleurs, que, si l'on emploie le fer à d'assez fortes épaisseurs, il n'y a pas de raison pour qu'il ne soit aussi indestructible que la fonte.

M. POIRÉE dit que, puisque l'on objecte à la fonte l'incertitude sur sa qualité, pareillement dans les ponts en tôle est-on sûr d'en bien connaître toutes les parties ?

M. MOLINOS répond affirmativement, attendu que les conditions essentielles d'une bonne construction en fer sont que l'on en voie toutes les parties, qu'elles soient toutes accessibles, de manière à pouvoir les réparer sur place s'il est nécessaire.

UN MEMBRE appelle l'attention sur la question du prix de revient, qui, selon lui, est capitale et décisive ; que si, en effet, on fait des ponts en métal, c'est généralement parcequ'ils coûtent moins cher que des ponts en ma-

çonnerie ; et en conséquence il désire, quant à lui, pour se déterminer dans le choix entre les ponts en fonte et ceux en fer, qu'on lui fasse connaître les prix de revient des uns et des autres.

On répond que pour une portée de 50 mètres les devis ont donné, à très peu près, le même prix de revient pour la fonte et pour le fer ; mais que, dans le cas particulier dont il s'agit, le pont en pierre coûtait encore meilleur marché.

Il serait à désirer qu'il fût donné à la Société communication de ces devis.

UN AUTRE MEMBRE est d'avis que l'on doit accorder une certaine préférence aux ponts qui offrent de la masse, par la raison que l'on aura moins à redouter les vibrations résultant de charges accidentelles. D'après cela, il préférerait les ponts en fonte jusqu'à des portées de 60 mètres environ ; mais, au delà, il croit que les ponts en fer doivent avoir la préférence ; d'ailleurs, pour ces portées considérables, ces ponts en fer ne peuvent manquer d'avoir d'assez grandes masses, et par conséquent alors de jouir en partie des avantages qu'il reconnaît dans les ponts en fonte.

M. POIRÉE ne voudrait pas, pour les ponts en fonte, dépasser les portées de 30 à 40 mètres.

On fait observer qu'on a reconnu que pour des portées de 30 à 40 mètres la fonte coûte moins cher que le fer, mais qu'il faut faire travailler la fonte à la compression et le fer à l'extension. Lorsque le fer résiste à la compression, il faut des contreventements considérables, ce qui donne du poids ; d'ailleurs, les pièces de pont proprement dites ne peuvent contreventer les arcs.

En résumé, M. le président indique qu'il paraît être radical d'admettre que, pour des ponts en arc d'une seule travée d'une portée de 30 à 40 mètres, l'emploi de la fonte est préférable, parcequ'il en résulterait plus d'élasticité et de solidité.

Que pour des ponts de 40 à 50 mètres l'emploi de la fonte sera encore préférable, parceque, la dépense étant la même, l'expérience acquise prouve que la durée de la fonte est plus grande que celle du fer.

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. LE PRÉSIDENT invite M. Grenier, membre de la Société, à vouloir bien communiquer les renseignements qui doivent compléter le mémoire dont il a donné lecture à la dernière séance.

M. GRENIER, n'ayant pas encore terminé la statistique des accidents sur

les chemins de fer des Etats-Unis d'Amérique, remet seulement aujourd'hui un tableau renfermant quelques prix de main-d'œuvre et de matériaux, pour répondre à la question qui lui a été faite à la dernière séance.

Il ajoute, au sujet des roues en fonte, qu'on les faisait primitivement évi-dées, mais que les rayons cassaient, et que maintenant on les fait pleines.

M. GRENIER fait observer que si les travaux sont peu coûteux en Amé-rique, malgré le prix élevé de la main-d'œuvre, cela vient de ce que, dans l'établissement des voies de fer, on ne craint pas d'employer des courbes d'un petit rayon et de fortes pentes et rampes; que le prix très bas du mètre cube de maçonnerie s'explique en ce que cette maçonnerie est beaucoup moins soignée qu'elle ne l'est habituellement en France, et par suite beau-coup plus vite faite. M. Grenier cite un souterrain qui n'a coûté que le quart de ce qu'il aurait coûté en France. Cela doit être attribué à ce que le terrain offrait de grandes facilités.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur le mémoire de MM. MOLINOS et de DION sur le choix à faire des divers systèmes de ponts.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que la discussion doit être ouverte sur les ponts en arc à plusieurs arches.

M. MOLINOS, dans ce cas, préfère les poutres droites aux arcs. Selon lui, on doit admettre en principe que les arches doivent être indépendantes: de là la nécessité pour les ponts en arc que les piles fassent culée. Si les piles sont basses, la chose est possible; mais, pour des viaducs élevés, on peut être conduit à des constructions extrêmement coûteuses, sinon impos-sibles.

On a fait, il est vrai, des ponts en arc dont les arches sont solidaires et dans lesquels les piles ne supportent que des pressions verticales: le pont des Arts en est un exemple; mais il résulte de cette disposition que les vi-brations prennent une grande amplitude par suite de la longueur du pont. C'est un inconvénient qui ne peut être atténué que lorsque le pont est très lourd.

On fait observer que le pont des Arts ne peut pas être cité pour modèle, attendu qu'il présente des défauts dans les assemblages qui ont dû être la cause de son mauvais service.

On fait remarquer également que, dans un pont en fonte pour chemin de fer, les inégalités de surcharge ne peuvent donner lieu à des composantes horizontales qui soient à craindre.

M. MOLINOS est d'un avis contraire. Suivant lui, la surcharge d'un convoi peut être triple du poids d'une travée, si l'on considère que pour une portée de 30 mètres, par exemple, on peut établir un pont ne pesant que 12 à 15,000 kilogrammes par mètre de simple voie.

On ne voit pas la nécessité que, dans un pont en arc en fonte bien établi, de cinq travées par exemple, les piles fassent culée, parcequ'on ne voit pas dans les circonstances ordinaires de possibilité de la destruction d'une travée isolée. Il semble, d'ailleurs, que les ponts à poutres droites fatiguent autant les piles que les ponts en arc.

M. MOLINOS ne pense pas ainsi, par la raison que, au lieu de poussées qu'exercent les arcs, les poutres droites n'agissent sur les piles que par frot-

tement, glissement ou roulement ; les piles ne sont , dans ce cas , que des supports verticaux.

Il appelle l'attention sur la très grande influence de la forme de l'arc, eu égard aux effets de la dilatation : c'est à quoi M. Oudry a eu égard dans son système de pont ; il donne à la clef une très faible épaisseur, de façon que, lorsque l'arc s'allonge par l'effet de la dilatation, il s'élève, sa courbure change, sa flèche augmente. Sans cette précaution, on a, ainsi que l'indique le calcul, des composantes horizontales énormes dont il est bien difficile d'apprécier l'effet destructeur sur les maçonneries. L'appréciation de ces effets de la dilatation des arcs, qui ne peuvent changer de forme en raison de leur disposition, est très complexe et paraît à M. Molinos une question très difficile.

On cite, à propos de la dilatation des arcs en fonte, ce qui s'est passé au pont du Carrousel quand on en fit l'épreuve : on trouva que sous la charge d'épreuve les arcs d'un côté s'étaient relevés, loin de s'abaisser, à cause de leur exposition au soleil ; les arcs du milieu, abrités, n'avaient pas bougé. Le phénomène se produisit inversement par une autre exposition aux rayons du soleil. Précisément à cause de ces effets de dilatation, on croit qu'il convient de faire des ponts élastiques, susceptibles de changer aisément de forme, et non des ponts d'une rigidité complète, comme sont ceux formés de voussoirs bien reliés. Sans cette condition d'élasticité, il semble qu'il doit y avoir des actions et réactions très fâcheuses sur la fonte. Le système du pont du Carrousel semble offrir cet avantage d'être doué d'élasticité. Les charges et les vibrations ne peuvent nuire à un système élastique ; on voit, au contraire, à tout instant, qu'il y a destruction des ouvrages quand il y a rigidité. On est d'avis, toutefois, qu'il est prudent de mettre sur les ponts une forte couche de ballast, pour en accroître la masse et éviter autant que possible les effets des vibrations.

Quant à la nécessité des piles formant culées, on demande quelles sont les chances d'accidents auxquelles ces ponts peuvent être exposés, quels sont les ponts qui sont tombés par suite de la rupture d'un arc. L'exemple du pont d'Asnières paraît trop rare pour qu'en vue de pareils événements on s'astreigne toujours, pour tous les ponts, à des dépenses très onéreuses.

M. MOLINOS entre dans quelques développements au sujet de ce qu'il entend par l'élasticité, qu'il ne faut pas confondre avec la déformation. Une déformation notable des arcs paraît facile à éviter : il suffit pour cela d'abaisser suffisamment les dimensions des arcs à la clef, dans des limites convenables pour ne pas altérer la résistance à l'écrasement ; mais l'élasticité et les vibrations qui en sont la conséquence lui paraissent très dangereuses. Un pont qui a des vibrations peut, lorsque ces vibrations s'ajoutent, être exposé à porter une charge dix et vingt fois plus grande que dans l'état de repos. Si l'on ne veut plus de ponts suspendus, c'est principalement à cause de leur trop grande élasticité. M. Molinos, pour toutes ces raisons, maintient donc la nécessité de piles en culée pour les ponts en arc ; il maintient également l'emploi des poutres droites pour les ponts à plusieurs tra-

vées, depuis quatre ou cinq et plus. Ces ponts offrent d'ailleurs des avantages sur ceux en arc pour la dépense.

On indique que les poutres droites sont celles qui ont le plus de flexion.

M. MOLINOS répond à cela qu'au pont d'Asnières les flexions n'ont jamais atteint 3 millimètres sous la charge d'épreuve, même en vitesse. Il est vrai de dire que le pont d'Asnières offre un excès de résistance, qu'il est très lourd, et par conséquent d'un prix élevé. Dans ce pont, les pièces de pont sont faites de telle façon qu'elles intéressent toutes les poutres ensemble pour supporter la charge.

On exprime de nouveau une opinion contraire à celle de **M. Molinos** sous le rapport des dépenses comparatives entre la fonte et la tôle. On trouve l'emploi de la fonte plus économique. En supposant pour la fonte 3,000 kilogrammes par mètre courant de double voie, pour une portée de 30 mètres, on trouve 115 tonnes de fonte à 0^r.38, soit 40,000 fr., et pour la tôle 1,800 fr. par mètre courant, soit 53,000 fr.

On ne croit pas nécessaire de faire des piles culées : c'est se jeter dans des dépenses inutiles.

M. MOLINOS indique qu'il a fait, à propos du pont d'Asnières, des projets comparatifs en employant des solives d'égale résistance, en tenant compte de l'avantage qui résulte de la solidarité des travées pour l'encastrement, et qu'il a trouvé une économie en faveur de la tôle pour des ponts de cinq à six travées de 30 à 40 mètres. L'économie serait plus grande encore pour de plus grandes portées. Ces résultats contraires sont, du reste, aisés à expliquer, car ils dépendent beaucoup du système sur lequel on opère. Il est clair que la dépense doit varier selon les dispositions de chaque système.

Ainsi le pont d'Asnières pèse 2400 kil. par mètre courant de double voie ; mais cela tient à ce que ce pont a été construit en vue d'un élargissement ultérieur. Les poutres formant garde-corps sont à double paroi au lieu d'être à simple paroi ; il y a des contreventements ou croix de Saint-André de 4 mètres en 4 mètres. Le pont de Langon, qui a 45 mètres d'ouverture, ne pèse que 2200 kil. par mètre courant.

Revenant sur les craintes que l'on peut avoir au sujet de la durée de la tôle, on fait remarquer, à cet égard, que les principaux inconvénients des ponts suspendus résultent de l'oxydation du fil de fer que l'on emploie à leur construction, et que la chute du pont d'Angers est attribuée particulièrement à la destruction d'un câble de suspension.

On ajoute que personne n'ignore combien dans les chemins de fer la tôle que l'on emploie dans la construction des réservoirs, bouilleurs et autres, se rouille et se ronge rapidement. Il conviendrait donc d'ajouter au prix de revient d'établissement tous les frais d'entretien, tous les soins qu'exigeront les ponts en tôle. Ces soins de tous les instants sont, pour les ponts de chemins de fer, une gêne, un souci continuel ; pour des ponts sur les routes ordinaires, on craint qu'au bout de quelque temps on néglige cet entretien minutieux.

On ajoute que l'on est certain de la durée de la fonte ; que pour la tôle on sait seulement qu'elle exige beaucoup d'entretien.

M. MOLINOS répond à ces diverses objections que, pour ce qui est de la durée des ponts en tôle, l'expérience n'a pas encore prononcé, mais qu'en employant des tôles un peu épaisses, on ne doit pas redouter l'oxydation; qu'enfin l'entretien des ponts en tôle doit dépendre beaucoup de la disposition adoptée.

On objecte encore à l'emploi des poutres en tôle leur flexion.

M. MOLINOS répond qu'en effet les poutres en tôle fléchissent, mais qu'elles ne vibrent pas; leur déformation a lieu au fur et à mesure du passage de la charge, après quoi elles reviennent sans osciller ou sans vibrer à leur état normal. Il ne peut y avoir dans ces poutres que des altérations d'assemblages, altérations insensibles pour d'aussi minimes flexions. Il n'en est pas de même pour la fonte: les arcs en fonte tendent à reprendre leur forme par ressauts ou vibrations; or, dès qu'il y a des vibrations, les effets produits ne peuvent plus se calculer.

Résumant la discussion, on conclut qu'il semble en ressortir qu'il n'y a pas lieu de rechercher l'emploi des piles culées, et que, quant au choix du métal, dans l'hypothèse des ponts en arc et la préférence à donner à la fonte ou à la tôle, la question est assez controversée pour qu'on doive attendre les résultats de l'expérience.

M. MOLINOS rappelle ensuite verbalement ce qu'il a dit dans son mémoire au sujet des bow-strings.

On objecte à ce système de ponts les difficultés d'exécution, l'incertitude que l'on peut avoir de la bonne qualité des soudures dans les diverses pièces de fer qu'emploie ce système.

M. MOLINOS fait observer que l'on pourrait éviter ces soudures en employant toutes pièces rivées.

SÉANCE DU 1^{er} DÉCEMBRE 1854.

Présidence de M. VUIGNER.

M. LE PRÉSIDENT donne quelques détails sur un accident qui vient d'arriver à un pont en maçonnerie à plusieurs arches construit sur la Saône, pour la traversée du chemin de fer, dans le faubourg de Vaise à Lyon.

Un bateau est venu s'échouer en travers d'une des arches et y former barrage; le courant s'est alors reporté avec violence sur les arches voisines; des affouillements considérables ont eu lieu autour d'une des piles; les enrochements ont été enlevés, et cette pile s'est écroulée en entraînant avec elle les deux arches correspondantes. Il est à craindre que ce nouveau barrage dans le lit de la rivière ne détermine de nouvelles avaries et la chute de toutes les autres piles. On ne peut attribuer évidemment qu'à une cause

de force majeure, déterminée par des circonstances exceptionnelles et imprévues, la destruction d'un aussi beau monument.

M. GRENIER donne lecture d'une note sur la statistique des accidents en 1853 sur les chemins de fer des États-Unis d'Amérique, note dont les documents sont extraits d'un rapport fait au conseil privé du commerce.

‡ Il résulte de cette note que, sur les chemins de fer américains, formant un développement d'environ 24,000 kilomètres, le nombre d'accidents a été, pendant le cours de cette année, de 103, qu'on peut évaluer comme suit :

Accidents provenant du mauvais état de la voie.	5
Accidents provenant de détérioration dans le matériel.	22
Accidents provenant du défaut d'exécution du règlement et de négligence.	76
Le nombre des personnes atteintes sur les mêmes chemins de fer a été de 754, dont 305 tuées et 449 blessées, et on peut les répartir comme suit :	
1° Voyageurs victimes des 103 accidents . . .	36 tués et 280 blessés ;
2° Voyageurs victimes de leur imprudence. . .	28 tués et 20 blessés ;
3° Employés du chemin de fer.	241 tués et 149 blessés.
Total.	305 tués et 449 blessés.

Il faut observer que les chemins de fer américains ne sont en général qu'à une seule voie.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Grenier de cette nouvelle communication, qui forme le complément du mémoire qu'il a présenté dans une des précédentes séances. Il fait remarquer que, d'après ce qu'on vient d'entendre, le nombre des victimes sur les chemins de fer en Amérique est bien plus considérable qu'en France. Cette situation n'empêche pas les Américains de voyager ; ils ne s'en effraient pas : ils l'acceptent comme un des inconvénients obligés de l'établissement des chemins de fer, qui rendent de si grands services à leur pays.

Il n'en est pas de même en France : au moindre accident, les populations s'effraient ; elles vont même jusqu'à désertter les chemins de fer pendant quelque temps ; elles oublient que, sur les routes correspondantes aux lignes qui les ont remplacées, les accidents étaient beaucoup plus nombreux, qu'il y avait plus de victimes, et qu'il en est de même encore aujourd'hui dans les localités où l'on ne jouit pas encore des avantages de ces nouvelles voies de communication.

Il est ensuite donné lecture de la note de M. Lecler sur la voie du chemin de fer d'Auteuil.

On regrette que M. Lecler ne soit point présent à la séance pour donner quelques détails sur diverses parties de sa note. On rappelle qu'à une des précédentes séances un membre de la Société avait exprimé la crainte que la dilatation produisit des effets fâcheux sur la voie du chemin de fer d'Auteuil. On cite à ce sujet ce qui est arrivé sur le chemin de fer du Havre, où, dans une tranchée dont la *plate-forme* avait une assez grande déclivité, tous les rails s'étant juxtaposés bout à bout, la dilatation fut assez grande pour faire soulever la voie de distance en distance.

On fait observer que, dans la voie Brunel, la dilatation des rails se fait de mètre en mètre, qu'ils tiennent et ne s'ajoutent pas, et que, par conséquent, il n'y a rien à craindre de ses effets.

Il est ensuite donné lecture de la note de M. Ebray sur l'emploi des fers à T dans la construction des ouvrages d'art et de bâtiment.

On fait observer que les conclusions de la note de M. Ebray viennent à l'appui de ce qui a été dit dans une séance précédente sur la convenance de l'emploi de poutres droites, formées avec des fers à T pour des ponts de 4 à 8 mètres de portée. On ajoute que l'on fabrique déjà depuis long-temps des fers à T de 0^m.30 de hauteur, et qu'on est arrivé maintenant à des hauteurs de 0^m.50.

M. LECLER est invité à présenter dans une des prochaines séances une analyse succincte de la note sur la solution des problèmes relatifs à l'établissement des croisements et changements de voie.

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion sur les moyens à employer pour brûler la fumée dans les appareils à vapeur.

M. LE PRÉSIDENT expose qu'une ordonnance de police prescrivant de prendre dans le délai de six mois les dispositions nécessaires pour brûler la fumée de tous les appareils à vapeur dans le département de la Seine, il était opportun de mettre cette importante question à l'ordre du jour.

Il ajoute qu'une mesure semblable a reçu son exécution à Londres depuis le commencement du mois d'octobre dernier. M. le président invite les membres présents à la réunion à faire part à la Société des renseignements qu'ils peuvent avoir pour arriver à la solution de cette question.

UN MEMBRE annonce qu'il a fait quelques expériences, mais qu'il ne pourra en faire connaître les résultats que dans une des prochaines séances.

D'autres membres faisant des recherches dans le même but, il y a lieu de remettre la discussion à la prochaine séance.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1854.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Présidence de M. VUIGNER.

L'ordre du jour appelle l'énoncé du trésorier sur la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU, trésorier, expose que le nombre des Sociétaires, qui était, au 16 décembre 1853, de 325
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de 28

ce qui porte ce nombre, au 16 décembre 1854, à 353
Démissionnaires, décédés et rayés 8

Reste 345

Les versements effectués pendant l'année 1854 se sont élevés à	9,495.70
Il reste à recouvrer en cotisations ou amendes	1,322 »
Formant le total de ce qui était dû à la Société.	<u>10,817 70</u>
Au 16 décembre 1853, le solde en caisse était de.	2,852.35
Les versements pendant l'année 1854 se sont élevés à.	9,495.70
Total.	<u>12,348.05</u>
Les dépenses de l'année 1854 se sont élevées à.	8,990.35
Solde en caisse au 15 décembre 1854.	<u>3,357.70</u>

M. le président met aux voix l'approbation des comptes. Cette approbation est adoptée.

Le président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remerciements pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections.

Les élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

<i>Président</i> :	M. Mony (Stéphane) ✱.
<i>Vice-présidents</i> :	MM. Petiet O ✱ ✱,
—	Flachat (Eug.) ✱ ✱,
—	Callon (Charles),
—	Faure.
<i>Secrétaires</i> :	MM. Yvert (Léon),
—	Fèvre,
—	Goschler,
—	Caillé.
<i>Trésorier</i> :	M. Loustau (Gustave).

COMITÉ.

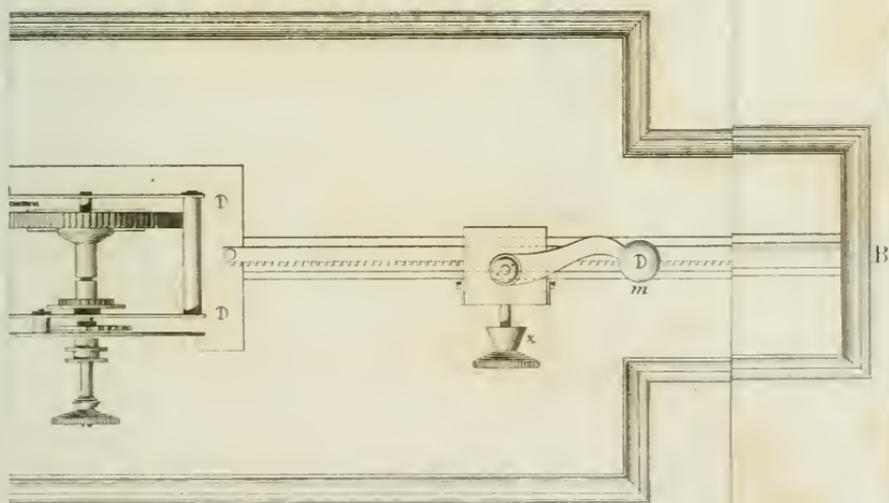
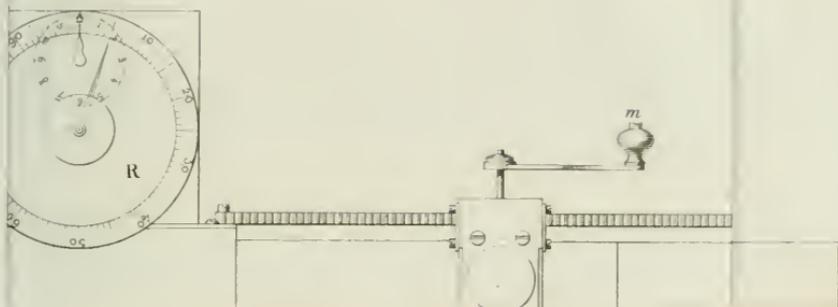
MM. Degousée,	MM. Séguin (Paul),
Nozo (Alf.),	Yvon-Villarceau,
Houel ✱,	Polonceau ✱,
Thomas (Léonce) ✱,	Chobrzinsky,
Alcan (M.),	Love,
Salvetat,	Bois (Victor),
Bergeron,	Grenier,
Vuigner O ✱,	Nepveu,
Forquenot,	La Salle,
Pépin-Lehalleur ✱,	Lemoinne.



TABLE DES MATIÈRES.

	Pag
Compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils (N° 24, Janvier, Février et Mars 1854).	1
Liste générale des sociétaires au 1 ^{er} janvier 1854)	3
MÉMOIRE n° 35. — Sur les machines à vapeur appliquées à la navigation, par M. Jules Gaudry.	17
MÉMOIRE n° 36. — Considérations générales sur les ressorts employés dans les véhicules des chemins de fer, par M. Bournique.	63
Note sur l'emploi des rondelles en caoutchouc vulcanisé comme ressort de choc et de traction, par M. Hovine.	80
Note sur le caoutchouc vulcanisé et sur son emploi comparé à celui de l'acier fondu pour les ressorts des voitures et wagons dans les chemins de fer, par M. E. Debonnefoy.	86
Compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils (N° 25, Avril, Mai et Juin 1854).	97
Note sur l'exploitation des chemins de fer à une voie en Allemagne, par M. Félix Mathias.	101
Note sur la théorie du drainage, traduction de l'ouvrage de M. Parkes, par MM. Huet et Geyler.	123
Compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils (N° 26, Juillet, Août et Septembre 1854).	185
MÉMOIRE n° 37. — Sur le meilleur système à employer pour élever et distribuer 20,000 mètres cubes d'eau dans la ville de Lyon, par MM. Vuigner et Edwards.	189
Note sur les divers tracés proposés pour le chemin de fer de Bayonne à Madrid, par MM. Bevan de Massy.	230
MÉMOIRE n° 38. — Sur l'extraction du jus des betteraves par la macé-	

ration, par M. G. Barveaux.	235
Compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils (N° 27, Octobre, Novembre et Décembre 1854).	253
Note sur l'expérimentateur phroso-dynamique (des fils, par M. Alcan.	257
Résumé des procès-verbaux des séances pendant l'année 1854.	262
Table des matières.	349



4 5 6 Decimetres

dessiné par Couquet

1^{re} Serie

Experiment sur Photo Dynamique

Elevation laterale

Fig 2



Coupe suivant AB

Fig 3

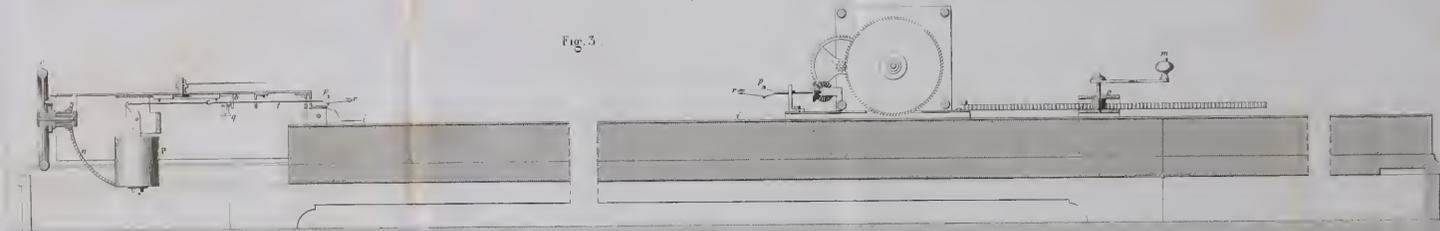
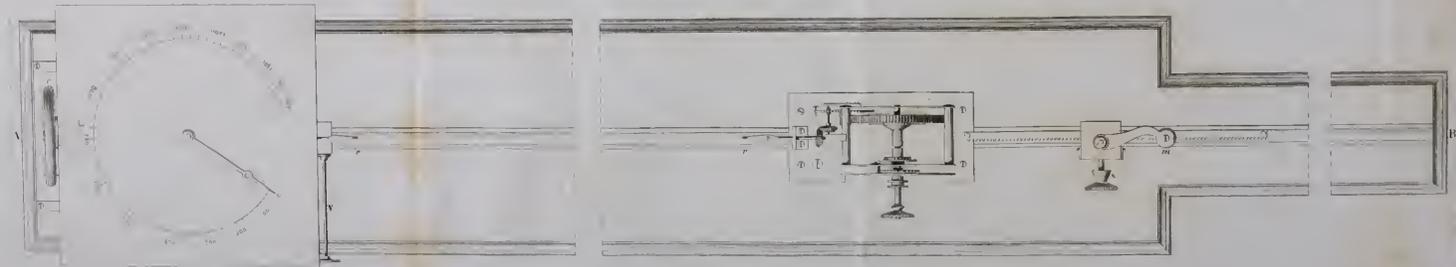


Fig 1. Plan



6 Decimetres



