

Titre : L'Électrification des chemins de fer en France

Auteur : Guillon, Jacques

Mots-clés : Chemins de fer*Électrification

Description : 1 vol. (110 p.) ; 25 cm

Adresse : Paris : Les Presses modernes, 1938

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Le 470

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8LE470>

L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER
EN FRANCE

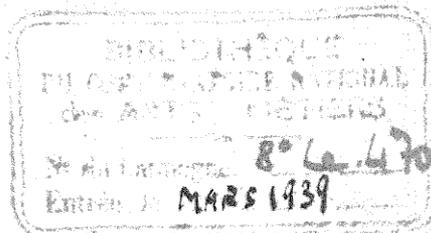
8° Le. 470

Jacques GUILLO

Docteur en Droit

Diplômé de l'Ecole des Sciences Politiques

L'Electrification des Chemins de Fer en France

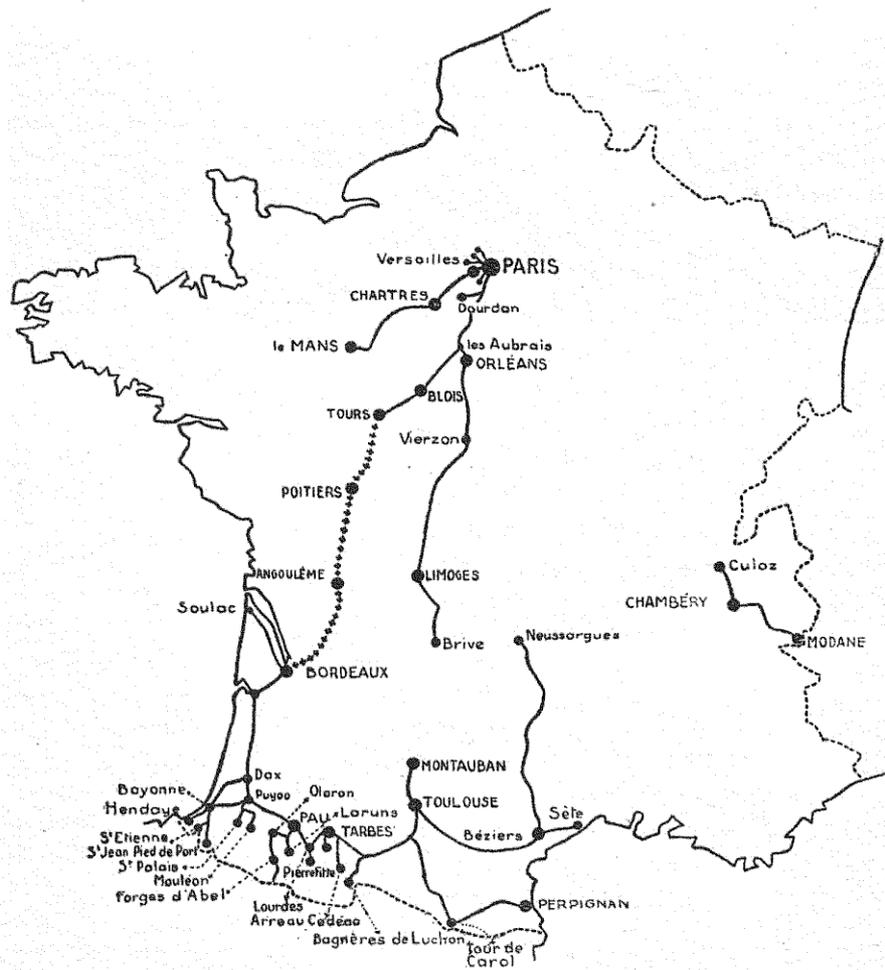


PARIS

LES PRESSES MODERNES

PALAIS-ROYAL

1938



Les lignes électrifiées au 22 mai 1937

Carte publiée à l'occasion du Congrès international des Chemins de fer

- Lignes en construction.
- Lignes en service.

INTRODUCTION

Depuis quelques années déjà, le progrès est devenu, dans tous les pays, synonyme de vitesse. Dans le domaine des transports, en particulier, la vitesse, alliée au confort, représente l'idéal à atteindre. Mais notre époque — époque de progrès, de vitesse, de confort — est aussi, vue sous un autre angle, une époque d'économie forcée, de restrictions. Les transports subissent tout particulièrement ces diverses influences qui furent, et sont encore, facteurs de son évolution.

A la fin du siècle dernier, le rail en était le seul organe représentatif : l'automobile avait vu le jour, l'aéroplane semblait encore une utopie. Rien ne laissait pressentir l'essor qui, quinze ou vingt ans après, devait couronner les efforts des inventeurs et des premiers pionniers. Si l'avion, moyen de transport rapide, mais coûteux et grevé de nombreuses servitudes, est loin d'être encore le rival heureux du rail, l'automobile, par contre, a réussi à s'imposer au delà de toute espérance. Au lendemain de la guerre, elle devint un moyen de diffusion industrielle, commerciale, agricole, dans le cadre régional. Le rail devait mettre son honneur à relever le défi. Quels étaient les moyens à sa disposition pour soutenir la concurrence ? Quels services pouvait rendre la traction à vapeur qui avait su si bien se prêter aux nécessités de la guerre ?

Le charbon, aliment de la locomotive, manquait : nos stocks étaient épuisés ; nos mines importantes, celles du

Nord et de l'Est, exsangues, demandaient de longs et très onéreux travaux d'aménagements ; la possibilité de faire appel à la production étrangère s'avérait difficile en raison du déficit de notre balance commerciale.

A l'issue de la guerre, l'idée d'appliquer au chemin de fer le moteur (à essence ou gaz-oil) n'avait pas encore pris corps. Ce n'est que plus tard, lorsque le conflit du rail et de la route entra dans une phase aiguë que l'idée vint d'emprunter au concurrent ce qui faisait sa force.

Dans l'avenir peut-être, le rail laissera-t-il une large place à ce mode de traction, qui a contre lui d'être, en très grande partie, tributaire de l'étranger.

Quelques lignes électrifiées d'intérêt général existaient, plus nombreuses étaient les lignes d'intérêt local et de tramways ; leur rendement était excellent et laissait bien augurer d'une électrification plus complète. Des études approfondies prouvaient que ce moyen de traction plus puissant et plus souple devait être employé toutes les fois que les exigences de la traction le commanderaient.

Restait la question de la production d'énergie. Jusqu'ici les réseaux s'étaient adressés pour la fourniture du courant aux usines thermiques de distribution générale. Mais sur ces usines pesaient les mêmes servitudes causées par notre pauvreté en combustible. Nous tournions dans le même cercle.

Une seule Compagnie, la Compagnie du Midi, avait mis en service une ligne dont l'énergie était fournie par la houille blanche (1).

(1) Cette expression devenue classique est due à l'ariégeois Bergès qui, à Lancey, dans le Dauphiné, avait créé dès 1868 la première grande chute et ainsi utilisé la puissance vive de l'eau.

L'électricité par la houille blanche répondait aux nécessités de l'heure : exploitation peu coûteuse, rendement excellent.

Cette richesse longtemps insoupçonnée, par des utilisations restreintes, laissait entrevoir ses grandes possibilités. C'était la force de l'avenir grâce à laquelle notre pays devait recouvrer une vitalité nouvelle. Tant que la technique des transports de force ne connut que des tensions peu élevées, de petites industries cantonnées dans le fond des vallées furent seules à utiliser cette énergie. L'exploitation alors était anarchique, conduisant au gaspillage et presque à l'anéantissement des chutes importantes. Le législateur se vit dans l'obligation d'intervenir : études et rapports se succédèrent. Ce ne fut qu'après la guerre, lors d'une vague de législation nouvelle et au moment où l'utilisation des hautes tensions permettrait d'orienter l'énergie hydraulique vers une exploitation rationnelle, que la loi fut votée.

L'Etat mettait la main sur les chutes d'eau et adoptait un régime de concessions et d'autorisations assimilable à celui appliqué aux mines.

Peu de temps après l'élaboration de la réglementation nouvelle et comme en corrélation avec celle-ci, une commission adoptait tout un plan d'électrification des chemins de fer. Ce plan prévoyait l'électrification de lignes de trois grands réseaux : P. L. M., P. O., Midi (1). La production du courant était en grande partie, pour ne pas dire en totalité, d'origine hydraulique.

Peu de temps après, la crise financière se faisait durement sentir, les projets étaient abandonnés dans leurs

(1) Le programme prévoyait l'électrification de 9.200 km. de lignes.

grandes lignes. Les travaux d'aménagement et d'installation s'élevaient à des sommes considérables que la trésorerie des réseaux, secondée par celle de l'Etat, ne pouvait songer à dépenser.

Vingt ans passèrent. Le 22 mai 1937, était mise en service la ligne électrifiée Paris-Le Mans, dernière réalisation de la technique électrique.

Vingt ans d'adaptation, d'études de laboratoire, de perfectionnement de notre outillage, de coordination de nos forces vives. Vingt ans pendant lesquels les plans de 1920 ont été remaniés, recoupés puis remplacés. Nous retrouvons toujours la trame de cette toile que représente l'électrification des réseaux : augmentation de la production d'origine hydraulique.

Cependant une nouvelle règle est née des difficultés actuelles : coordination des moyens de production en évitant de tomber dans l'absolu : éviter la concurrence pour améliorer le rendement.

L'utilisation de l'électricité ne pouvait plus être divisée en des compartiments trop étroits. Trop de domaines y étaient intéressés. Le problème devenait à la vérité fort complexe car il s'agissait de faire coopérer au double point de vue technique et financier de nombreux organismes n'ayant que peu ou point d'intérêts apparemment convergents : groupements régionaux, producteurs indépendants, réseaux de chemins de fer, industries.

Le caractère nullement différencié et dans une large mesure, complémentaire des ressources régionales et de leurs équipements et le succès de certaines réalisations de caractère fragmentaire, faisaient cependant ressortir avec évidence l'intérêt que pouvaient présenter globalement, pour l'ensemble du pays, des déplacements d'énergie de

caractère massif, impliquant la constitution d'un super-réseau à grande capacité de transport et à vaste rayon d'action, à très haute tension. Il devint relativement aisé de nouer les accords nécessaires à la réalisation par fragments d'une œuvre qui devait être en définitive un tout cohérent.

Le super-réseau national, qui se constitua ainsi, en peu d'années, est réparti de ce fait en concessions juridiquement distinctes, accordées à des sociétés présentant le plus souvent le caractère coopératif et groupant des organismes régionaux, des producteurs spécialisés ou des grands réseaux de chemins de fer. La ligne Paris-Le Mans est une illustration des résultats obtenus dans ce sens. Elle bénéficie du courant fourni par le Nord, par l'Est, par la Région Parisienne, par le Massif Central, par les Pyrénées. Nous voyons donc qu'une large part est encore laissée à l'énergie thermique. L'engouement qui en 1920 avait fait décider la création de nombreuses usines s'est un peu calmé devant les frais énormes d'aménagement.

A la Commission de 1920, l'idée de n'électrifier que les lignes susceptibles de recevoir l'énergie hydraulique s'imposait. On en concluait un peu trop rapidement que l'électricité ne peut être utilement appliquée à la traction que si elle est d'origine hydraulique. Si on note un accroissement continu de la part de l'hydraulique dans l'ensemble de la production nationale, la chose n'apparaît pas en soi comme un indice favorable : la question de la répartition optima entre le thermique et l'hydraulique étant fort complexe et n'étant pas seulement d'ordre économique mais devant être envisagée également au point de vue social.

L'électrification, entourée de ces différentes conjonctures, apparaît comme le type même des travaux d'outillage national, mais il ne faudrait pas en conclure que tout le

territoire national doit être électrifié. Des raisons s'y opposent qui sont d'ordre social, militaire, économique et surtout financier. A ce dernier point de vue, l'électrification d'une ligne devient une opération économique en soi à partir du moment où le trafic atteint une certaine intensité, ou plus exactement, car le profit intervient, à partir du moment où la consommation kilométrique du charbon atteint un certain chiffre. Cette limite est évidemment fonction d'un certain nombre de variables telles que le prix du charbon, le prix du courant, le loyer de l'argent.

HISTORIQUE

Il en fut de la traction électrique comme de toutes les inventions à leur origine, peu nombreux étaient ceux qui lui accordèrent une confiance dénuée de réserves. La place qu'on estimait être la sienne apparaissait restreinte et l'utilisation qu'on devait en faire ne dépassait pas le territoire communal. Il y a quelque cinquante ans, on l'adoptait dans les grandes villes pour remplacer les chevaux ou la vapeur sur les lignes de tramways. Encore ne l'envisageait-on que sur des parcours à profil relativement accidenté. Devant les résultats acquis, la traction électrique ne tarda pas à être étendue aux lignes de banlieue et, un peu plus tard, à quelques lignes d'intérêt général. Elle rendait possibles un certain nombre de parcours qui, jusque-là, avaient paru irréalisables. A partir de ce moment, l'attention des financiers était attirée : la traction électrique avait obtenu gain de cause.

L'idée de traction électrique est ancienne. A notre connaissance, c'est le forgeron américain, Thomas Davenport, qui en émit l'idée, la première fois : il réussit, en 1834, à propulser une voiture munie d'une batterie de piles au moyen d'une machine magnéto motrice.

Quatre ans plus tard, l'Écossais Robert Davidson construisit la première locomotive électrique digne de ce nom. D'un poids de 5 tonnes, cette machine circulait à la vitesse de 6 km. entre Edimbourg et Glasgow.

Mentionnons aussi les tentatives de Panner et Hill de Boston, les découvertes de Pucdus (1840), de Lelley et Colton (1847).

L'idée étant lancée, les exemples se multiplièrent un peu partout. Les recherches se portèrent aussi bien sur la traction autonome que sur la traction par collecteur.

Le 24 avril 1851, le professeur C.-G. Page du « Smithsonian Institute » fit circuler de Washington à Blodensburg une locomotive actionnée par un moteur à mouvement alternatif qui donna une vitesse de 30 km.-heure.

En 1855, Levear et Bessolo se préoccupèrent d'amener le courant par un fil conducteur isolé du sol, tandis que, vers 1864, Cazals construisait un moteur directement appliqué à l'essieu d'un véhicule.

Jusqu'ici, les tentatives n'étaient pas couronnées par le résultat qu'elles méritaient, faute d'une source d'énergie suffisamment puissante.

L'horizon s'éclaira le jour où furent connues les dynamos de Gramm et de Siemens et la découverte du transport de force qui théoriquement remonte à Ampère et Faraday. L'expérience pratique de transmission d'énergie est due à M. H. Fontaine qui en 1873 réalisa le premier transport de force sur une distance de 3 km. Cette date marque une ère nouvelle pour la traction électrique.

Ses progrès sont dès lors prodigieux : tant en ce qui concerne le moteur qu'en ce qui concerne la transmission de l'énergie. La maison allemande Siemens et Halske se spécialise dans la construction du chemin de fer électrique : chemin de fer de l'Exposition de Berlin (1879) ; ligne de Gross à Lichterfeld ; chemin de fer d'essais de Méran (Tyrol) en vue de la traction électrique sous le tunnel du Saint-Gothard.

En 1880, le Dr Froelich d'une part, M. Marcel Deprez d'autre part, reconnurent la nécessité d'adopter les courants alternatifs à haute tension pour le transport de l'énergie. Par ce moyen, ils atteignirent une distance de 50 kilomètres.

Citons encore les expériences intéressantes entre Vizille et Grenoble (en 1885) ; entre Creil et Paris La Chapelle (56 km.), mais tandis qu'il y avait au départ un courant continu d'une puissance de 70 à 110 kw., il n'y avait plus à l'arrivée que 27 à 52. Si le transport d'énergie électrique exige de très hautes tensions, l'usage de cette même énergie n'est possible qu'à des tensions relativement faibles. Comment concilier ces deux règles contradictoires au premier chef ? La science des premiers jours du XX^e siècle n'a pas tardé à résoudre cette contradiction : de très ingénieux appareils dits transformateurs convertisseurs étaient nés. Ils ont permis de changer la tension et l'intensité d'un courant dont la nature n'est pas modifiée ou bien un courant d'un type déterminé en un courant d'un autre type Cette découverte a permis le transport d'énergie à grande distance et l'utilisation rationnelle de l'énergie thermique, et surtout de l'énergie hydraulique.

La première ligne électrique exploitée en France a été celle de Clermont-Ferrand. Elle a été construite en 1890 avec le matériel de la Compagnie suisse Thury.

En 1892 était ouverte la ligne de Marseille - Saint-Louis.

En 1893 celle de Bordeaux-Bouscat au Vigan.

En 1894 celles de Lyon et du Havre.

En 1895 nous assistons à un développement plus rapide encore, quoique disséminé.

La traction électrique, évitant les dégagements de fumée et de vapeur et par là même les dangers qui en résultaient,

permettait l'utilisation pratique des chemins de fer souterrains.

La ville de Paris obtenait la concession du chemin de fer métropolitain (loi du 30 mars 1898) ; elle le concédait à son tour à une société.

La Compagnie des chemins de fer de Paris-Orléans reportait son terminus d'Austerlitz au Quai d'Orsay par une ligne électrique souterraine (1900).

Mais c'est surtout sur l'électrification des lignes d'intérêt local et des lignes de tramways que les efforts furent portés.

Le 31 décembre 1908, la traction électrique était en grande partie adoptée sur nos

chemins de fer d'intérêt local	8.003 km.
tramways pour voyag. et march.	5.384 km.
» » » » et messageries	399 km.
» » » seulement	2.095 km.

c'est-à-dire sur nos 15.881 km. de chemins de fer d'intérêt local et de tramways.

Si on veut confronter ces chiffres avec ceux des lignes d'intérêt général exploitées avant la guerre, nous trouvons :

Invalides - Versailles (1900)

Orsay - Juvisy (1904)

Le Fayet - Chamonix (P. L. M.)

Saint-Georges-de-Commères - La Mure

Au maximum, l'ensemble des lignes d'intérêt général avait 75 kilomètres de longueur.

Telle était la situation avant la guerre.

L'Électrification au point de vue économique social et financier

INTRODUCTION

Au point de vue économique, l'électrification des chemins de fer dépend des trois problèmes suivants : du trafic transitant, du coût des travaux et surtout du coût du charbon.

On croyait assez communément, il y a peu de temps encore, que les lignes accidentées, et, par cela même, à trafic réduit, offraient à la traction électrique le champ d'application le plus favorable ; et c'est dans la région des Pyrénées, à proximité des sources naturelles d'énergie des hautes montagnes, dont la mise en valeur est due, pour une large part, à l'initiative du réseau qui dessert cette région, qu'a été électrifiée en France, la première voie normale, abstraction faite des lignes de banlieue. Mais l'importance des immobilisations qu'exige en tout état de cause l'équipement d'une voie ferrée a conduit à reconnaître que sur les lignes à gros trafic, de telles immobilisations sont, dans bien des cas, plus aisément amorties.

Mais il ne faut surtout pas perdre de vue que l'utilisation de l'énergie hydraulique pour l'électrification des chemins de fer doit être un moyen de résoudre le problème

du charbon. Il ne faudrait d'ailleurs pas opposer trop radicalement la houille blanche à la houille noire. Une bonne répartition des deux systèmes doit réaliser le type parfait convenant à notre pays.

Dans ce domaine, plus que dans aucun autre, il ne peut être question de copier les réalisations étrangères, car la géographie (surtout l'hydrographie) du pays a une importance primordiale (1). Si, avant la guerre, nous avons assisté à une explosion sporadique et non dirigée d'usines hydro-électriques et d'usines thermiques, nous concevons parfaitement que l'électrification du territoire ne peut être maintenant réalisée que suivant un plan profondément étudié d'après le régime géologique et hydrographique de notre pays. Sans cela nous assisterions à un gaspillage énorme de nos richesses nationales : gaspillage de notre sous-sol qui n'est pas inépuisable, gaspillage de notre domaine hydraulique qui doit nous apporter toute sa puissance.

(1) En Angleterre, nous constatons une floraison d'usines thermiques tandis qu'en Suisse, le type hydraulique est très nettement prépondérant.

LE PROBLEME DU CHARBON EN FRANCE

Si nous nous en rapportons à des études effectuées il y a quelques années par M. Ternier d'une part, et par la revue allemande « Stahl und Weisen » d'autre part, nous constatons que les réserves en charbon de notre sous-sol peuvent être évaluées à 19 milliards de tonnes ce qui, par conséquent, correspondrait à une consommation annuelle de 100 millions de tonnes prolongée pendant deux cents ans.

Il faut espérer, d'ici là, la découverte d'un produit de substitution.

En fait, deux raisons prépondérantes viennent entraver notre production :

a) L'insuffisance de la main-d'œuvre. Cependant, depuis la guerre, de gros efforts ont été tentés. N'a-t-on pas été, notamment en Pologne et en Tchécoslovaquie, solliciter les éléments de l'immigration étrangère. D'ailleurs, cette propagande reste à entretenir. Sitôt qu'ils ont amassé un petit pécule, nombreux sont les ouvriers qui retournent dans leur patrie.

On est bien loin de ne trouver que des avantages à cette importation de la main-d'œuvre étrangère. L'immigration doit être limitée, non seulement pour des questions touchant à l'économie sociale, mais aussi au droit international (naturalisation).

b) L'autre limitation apportée au plus grand développement de notre industrie houillère est plus grave. Géologi-

quement, nos mines sont constituées par des couches présentant une allure tourmentée qui ne permet pas la généralisation d'une technique appropriée aux couches privilégiées telles que celles des U. S. A. ou d'Angleterre, et qui rend difficile une exploitation intensive.

Ainsi le problème de notre approvisionnement en charbon se dégage dans toute sa netteté redoutable : plus redoutable encore était-il à la fin de la guerre ; nos mines dévastées lors de l'occupation allemande et inondées, ne pouvaient qu'être remises très lentement en service. En même temps, la France, dont la production normale n'avait jamais dépassé le 1/4 de ses besoins, devait faire face aux obligations qu'elle avait à assumer. Pour qu'elle puisse redresser sa situation financière, il lui fallait modérer son appel à l'importation étrangère de charbon et en même temps il lui fallait tripler, quadrupler même sa production de fonte et d'acier sur les chiffres d'avant-guerre. (1).

C'était donc un véritable dilemme qui se posait alors dont les données étaient :

L'une, de ne pas trop aggraver le déficit de la balance commerciale par une importation trop massive de charbon ;

L'autre, de maintenir et surtout d'augmenter le rendement de notre production métallurgique.

Or, en diminuant le nombre des machines à vapeur en service qui sont dépensières de charbon, on réduisait, dans une certaine mesure, notre dépendance à l'égard des marchés étrangers, et l'utilisation de nos ressources en énergie hydraulique se trouvait contribuer à combler la différence accusée de notre balance commerciale.

(1) C'est grâce au charbon que les U. S. A. sont passés au premier rang des pays producteurs de fer.

Si l'on se base uniquement sur les chiffres d'avant-guerre, on constate que les chemins de fer absorbaient 14 % de la consommation totale du charbon en France :

Production de la Houille en France :

	Production	Consommation
1913	40.844	64.834
1924	45.054	74.250
1935	47.120	67.800

Si nous prenons les chiffres actuels, le programme d'électrification actuellement réalisé entraîne une économie de l'ordre de 1.800.000 tonnes de houilles représentant 16 à 17 % de la consommation totale de charbon des réseaux français qui est de l'ordre de 11 millions de tonnes. Rien que pour la Compagnie du Midi où l'électrification est la plus étendue, celle-ci a permis de très notables économies de charbon.

Citons à ce sujet le discours de M. Tirard, président du Conseil d'Administration de la Compagnie, à l'Assemblée générale du 18 mars 1937 :

« Aujourd'hui nous devons nous féliciter de l'électrification, étant donnée la hausse importante du prix du charbon, l'amélioration vraisemblable du trafic et le fait que les travaux ont pu être effectués à un prix très inférieur à ce qu'il serait maintenant.

Nous nous trouvons ainsi, sur la base du trafic de 1936, pouvoir économiser 470.000 tonnes de charbon, rien que sur les lignes électrifiées propres au Midi. Indépendamment de l'intérêt financier que présente cette situation, il ne faut pas oublier que nous aurions été contraints de passer des commandes massives à l'étranger qui nous procure le charbon nécessaire, puisque, dans l'ordre actuel des choses, nous

sommes déjà forcés de nous approvisionner pour près de la moitié de nos besoins, en charbons étrangers. »

Il est tout à fait intéressant de constater que l'électrification de la région Sud-Ouest s'est faite au détriment du charbon anglais mais pas du tout au détriment des mines de houille de la région. Bien mieux, les miniers français ont estimé que le développement de la consommation d'énergie hydroélectrique dans cette région et les besoins corrélatifs d'énergie de régularisation, allaient rendre possible l'exploitation des gisements et ont construit à proximité une centrale thermique, en même temps que les mines de Graissac édifiaient également une centrale sur leur carreau.

Le problème inverse du précédent se pose dès que l'électrification est suffisamment étendue :

A qui imputer l'économie de notre consommation de houille ? Il faudra la répartir entre notre importation et nos houillères. Dans quelles proportions ? là est la complexité du problème. Faisant abstraction de l'équilibre de la balance commerciale, d'autres questions entrent en jeu : nécessité pour notre pays de se garder une flotte commerciale suffisamment importante, ralentissement de l'activité de nos ports.

LES USINES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Types d'Usines

En se plaçant sur le terrain des principes scientifiques, on peut distinguer trois grands types :

A) Modes thermodynamiques mettant en jeu deux sources de chaleur : une source chaude et une source froide suivant le principe de Carnot.

On trouve dans ce groupe : les usines thermiques proprement dites qui utilisent le phénomène de la combustion pour transformer l'énergie interne des combustibles solides, liquides ou gazeux en énergie électrique, soit à l'aide de machines à vapeur, soit à l'aide de moteurs à explosion, soit à l'aide de moteurs à combustion interne.

Seules les usines utilisant les combustibles solides semblent devoir se prêter à des installations de quelque importance.

Les combustibles liquides, ou bien sont d'un prix trop élevé pour pouvoir jouer un rôle méritant d'être signalé dans la production de l'énergie électrique (goudron, essence), ou bien ne peuvent être utilisés que sur des appareils qui, dans l'état actuel de la technique, ne peuvent être construits avec une puissance unitaire suffisante pour que leur emploi puisse être envisagé dans les très grandes usines génératrices (huiles lourdes, gaz-oils). Les moteurs Diesel possèdent un certain nombre de qualités : excellent rendement thermique, facilité et rapidité de mise en route, qui peuvent

le faire rechercher pour l'équipement de petites usines de secours. Les combustibles gazeux sont appelés à un plus grand avenir. Le gaz naturel, composé de méthane et d'hydrocarbures divers, mais dont il n'y a malheureusement pas d'émission en France, est utilisé en Roumanie et aux U.S.A.

Plus féconde a été l'utilisation du gaz de hauts fourneaux et du gaz de four à coke : « la houille incolore » (M. de Loisy).

B) Les usines hydrauliques ou hydromotrices. Celles-ci dépendent de l'écoulement des masses liquides vers la mer. Parmi celle-ci, mentionnons d'abord l'énergie des marées ; il ne faut pas la tenir pour négligeable. Il est au contraire très possible et même souhaitable que l'on trouve bientôt dans l'utilisation des forces de la mer une source d'énergie fort importante.

« Le moulin à marée remonte à la plus haute antiquité » (de Pawloski — *Journal des Economistes* 1923). Mais ce n'est seulement que de nos jours qu'on imagine d'asservir la marée sur une grande échelle.

Le système reste à mettre au point. Pratiquement, le littoral français ne peut être avantageusement aménagé que dans le Cotentin et de St-Malo à Brest, zone où l'amplitude des marées est de 13 mètres dans la Manche occidentale, 12 autour de St-Malo et 10 ailleurs. Mais parmi les usines hydrauliques, nous devons réserver la plus large place aux usines utilisant :

- a) la houille blanche ; cette appellation est désormais consacrée aux chutes des cours d'eau de montagnes à forte pente et souvent à faible débit.
- b) la houille verte qui désigne la captation de l'énergie des fleuves.

Le principe d'utilisation de cette force est celui-ci :

Chaque kilogramme d'eau qui, vaporisé par le soleil, vient se condenser sur une portion du sol dont l'altitude au-dessus du niveau de la mer est H mètres, fait en retournant à la mer un travail égal à H kilogrammètres. Dans la nature, ce travail est perdu pour l'homme.

Pour l'utiliser, il faut : substituer à l'écoulement naturel avec pertes, un écoulement sans pertes sensibles dans des canaux artificiels de sections largement calculées ; recueillir le travail de la chute (ou de la pente) dans une machine hydraulique et enfin transformer les kilogrammètres recueillis par la machine, en une énergie utilisable immédiatement : fabrication directe de produits ou d'électricité.

Laissons de côté la houille verte dont l'utilisation est assez restreinte et n'envisageons que la houille blanche.

La houille blanche est née de l'électrochimie et de l'électrométallurgie. Seule, elle paraissait autrefois susceptible de mettre à la disposition de ces fabrications, l'énergie à très bon marché dont elles ont besoin.

La technique encore incertaine de transports à grande distance cantonnait d'ailleurs la houille blanche dans le fond de nos vallées. Mais après la guerre, les rapides progrès réalisés dans la technique des transports à haute tension permettant de franchir des distances croissantes, ont changé complètement les données du problème et ont singulièrement élargi le champ d'utilisation de l'énergie hydro-électrique et c'est pourquoi on a vu, dans la dernière décennie, la houille blanche prendre un essor sans cesse croissant jusqu'à la crise économique qui l'a longuement arrêtée.

La Houille blanche

Ce problème de la houille blanche doit être étudié en premier lieu au point de vue géographique et hydrographique. Ces deux questions sont liées, cependant nous nous efforcerons de les décomposer.

Etude géographique

Nous pouvons diviser la France en trois grandes régions : 1. — *Le Rhône et les Alpes*. — Comprenant les bassins du Rhône, du Fier, du Guiers, de l'Isère, de la Durance et des fleuves côtiers (à l'est du Rhône).

Les Alpes présentent des conditions particulièrement favorables à l'aménagement des rivières de montagne : là, en effet, grâce à la richesse en eau des cours d'eau, l'aménagement est simplifié ; un barrage suffit en général à conduire l'eau vers la dérivation.

2. — *Les Pyrénées*. — Comprenant les bassins de la Garonne, de l'Adour et des fleuves côtiers.

Dans les Pyrénées, les procédés utilisés dans les Alpes ont été plus difficiles à employer pour des raisons que nous aurons l'occasion d'examiner plus en détail. Qu'il nous suffise de savoir qu'un des principaux empêchements à l'emploi du type d'aménagement dit alpin est l'éparpillement des rivières et l'absence de réserves glacières.

3. — *Le Massif Central*. — Comprenant le bassin de la Loire, de la Dordogne, du Tarn et du Lot. Dans le Massif Central, enfin, les conditions géographiques ont imposé un régime complexe.

Dans cette région, en effet, l'absence de grande pente, la pauvreté des débits ont nécessité la construction de vastes

réservoirs artificiels destinés à compenser les irrégularités des débits.

Nous voyons, donc, que trois facteurs entrent en jeu :

- a) l'étendue du bassin versant.
- b) l'importance, l'époque et le régime des précipitations atmosphériques.
- c) la climatologie générale du lieu.

Ce qui nous permet de dire, avant d'aborder l'étude purement hydrographique, que chaque région n'a pas un régime qui puisse lui être strictement appliqué et que chaque méthode n'a pas un domaine d'application strictement délimité.

Régime hydrographique

Par sa situation géographique, son climat, le relief de son sol, notre pays dispose de chutes d'eau dont la puissance égale, quand elle ne surpasse pas, celle des contrées les plus favorisées de l'Europe.

Nous renonçons à reproduire les chiffres de statistiques comparées, publiées jusqu'ici. Au producteur en quête d'électricité, nos rivières et nos torrents offrent des ressources infinies, dispersées principalement dans la portion de notre territoire qui s'étend au sud d'une ligne imaginaire tirée de Strasbourg à Nantes.

« Chez nous, les chutes susceptibles de produire plus de 200 millions de kilowatts heures par an sont très rares : 64 % des chutes concédées au 1^{er} janvier 1931 ont une capacité de production comprise entre 1 million 1/2 et 40 millions de kilowatts heures par an — 15 % peuvent produire entre 40 et 80 millions ; 7 % entre 80 et 120 millions ; 9 % entre 120

millions et 160 millions et 4 % seulement au delà de 160 millions de kilowatts heures » (1).

En se basant sur les chiffres des statistiques on peut évaluer à environ 50 milliards de kilowatts heures la capacité de production des chutes françaises.

Ces chiffres représentent la capacité de production de la chute, c'est-à-dire le nombre de kilowatts heures qu'elle pourrait produire si toute l'eau susceptible de passer par la dérivation existante ou projetée était turbinée.

En fait, il y a toujours du déchet provenant des hautes eaux temporaires que l'on est souvent obligé de laisser passer dans le lit naturel de la rivière, et de défaillances de la consommation qui ralentit en certaines saisons de l'année et à certaines heures de la journée.

« D'une puissance unitaire généralement médiocre, la chute d'eau française est en outre souvent située dans les vallées montagneuses qui sont aussi des centres de répulsion pour l'industrie en raison de leurs difficultés d'accès.

« Rien de comparable à certaines chutes scandinaves que l'on utilise à la périphérie près de la mer, propice au négoce (2).

Enfin, à la chute d'eau française, manquent en général des moyens naturels de régularisation.

Le débit d'un cours d'eau présente un régime annuel variable entre un minimum appelé étiage et un maximum appelé crue. Dans les cours d'eau alimentés par des glaciers comme le Rhône, par exemple, cet étiage se produit en hiver parce qu'en été la fonte des neiges compense largement les disettes de pluie. Les cours d'eau des Pyrénées

(1) Tochon : *Les Chutes d'Eau* (Alcan, 1933).

(2) Tochon.

qui n'ont que de rares glaciers, offrent cette particularité d'avoir deux étiages, l'un en été, l'autre en hiver. Les lacs seuls pourraient permettre cette régularisation ; nous n'en avons guère que dans les Pyrénées. D'où la nécessité de recourir à des ouvrages d'accumulation artificielle coûteux dont les emplacements sont forcément limités.

Aménagement rationnel d'une Usine

Quand une usine hydraulique est alimentée par le débit naturel d'un cours d'eau, ses organes principaux (canaux d'aménée, conduites forcées...) doivent être calculés différemment suivant le but que l'on se propose.

Si l'on désire un régime absolument constant d'un bout de l'année à l'autre, à défaut d'accumulation, l'usine devra être établie en vue d'absorber seulement le plus bas étiage connu.

Si l'on admet un certain ralentissement pendant le courant de l'année, on l'établira en vue d'absorber un débit se rapprochant plus ou moins de la moyenne du débit moyen annuel. Mais on peut améliorer la situation de l'usine à l'aide de réservoirs. Supposons qu'on dispose dans la partie haute de la vallée, d'un réservoir suffisamment grand pour emmagasiner une fraction notable du débit total annuel du cours d'eau, et qu'on retienne une partie des eaux des crues pour les lâcher pendant les périodes de basses eaux, on pourra arriver à rendre le débit sensiblement constant et souvent égal au débit caractéristique moyen. Ainsi l'usine, de même que toutes celles qui pourraient être établies en aval du réservoir, bénéficiera d'un régime constant.

Pour diminuer les frais d'établissement de pareils ré-

servoires, il faudra utiliser l'emplacement de lacs préexistants dont il suffira d'augmenter la capacité.

Les usines d'Eget et de Saint-Lary sont un exemple de cette méthode : elles utilisent le débit de la Neste de Couplan et d'un de ses affluents régularisés par les réservoirs importants d'Oredon et de l'Oule.

Si nous étudions le graphique de la production journalière d'une usine, nous constatons qu'il y a des pointes et des heures creuses. Les canaux d'amenée et les conduites forcées doivent être établis pour le maximum de la demande journalière d'énergie et le débit du cours d'eau doit correspondre à la demande journalière maximum. Cependant, par l'établissement de réservoirs journaliers, en général distincts des réservoirs annuels, avec un débit moyen journalier très inférieur à celui correspondant à la demande maximum qu'on appelle la pointe, il est possible de satisfaire sans difficulté à la demande de l'usine. Les eaux emmagasinées aux heures creuses sont libérées au moment de la pointe journalière.

On voit ainsi comment, en corrigeant la nature, on peut rendre un cours d'eau à débit essentiellement variable, propre au service de l'énergie électrique ou aux besoins de la consommation.

ÉCONOMIE RELATIVE DES DIFFÉRENTS MODES DE TRACTION

Nous avons étudié ainsi deux problèmes : le charbon (traction à vapeur, usine thermique) et la houille blanche. Quel sera le domaine d'application de chacun ? Quelle sera la part de l'un et de l'autre ?

Des nombreuses études tendant à comparer la consommation du charbon dans le foyer de la locomotive à celle dans le foyer de l'usine, il résulte que l'utilisation des combustibles sur le chemin de fer se fait dans des conditions très spéciales. La locomotive avec un emplacement disponible des plus limités, doit fournir un effort de traction considérable pouvant varier d'un point à un autre du parcours.

D'autre part, il est établi que les pertes de puissance calorifique sont beaucoup plus grandes pour une locomotive que pour une chaudière d'usine (pertes par imbrûlés, eau non condensée, perte par chaleur sensible des fumées, perte par rayonnement).

	Pertes	Rendement
Locomotives :	56,5 %	43,5 %
Chaudière fixe :	31,3 %	68,7 %

Ajoutons aussi que les feux d'une locomotive doivent être toujours entretenus même pendant la non-utilisation

alors que l'usine peut réduire la consommation au moment des heures creuses et ainsi ne pas dépenser d'énergie inutile.

On arrive à réduire de plus en plus la quantité de charbon dont les centrales se contentent pour fournir le kilowatt heure. En tenant compte des pertes de courant (tant sur le primaire et sur le secondaire qu'au transformateur), on est donc en mesure de savoir à combien correspondra l'unité d'énergie fournie à la prise de courant de l'automotrice.

Aux U. S. A. où les chutes d'eau étaient trop espacées, on a demandé aux mines de charbon l'énergie nécessaire et M. Rice affirme que, sur les 150 millions de charbon absorbés par les locomotives à vapeur, on économise par l'électrification plus de 100 millions de tonnes.

On est ainsi fixé sur l'énorme dépense de combustible que nécessite la traction à vapeur. Cette dépense est approximativement la même en France.

En 1914, la consommation de charbon sur les lignes que l'on se proposait d'électrifier en 1920 était de :

Midi	370.000
P. O.	450.000
P. L. M.	700.000
	<hr/>
	1.520.000 tonnes.

D'après ces quelques éléments, on peut être convaincu de l'avantage de l'électrification par usine thermique sur la traction à vapeur.

Reste l'autre question dont nous nous proposons l'examen : électricité thermique ou électricité hydraulique.

On constate une tendance assez marquée à l'heure actuelle à préférer la centrale thermique à la centrale hydraulique, en raison de son coût d'installation moins élevé et de

sa mise en marche plus rapide ; mais on oublie que l'exploitation de l'usine hydraulique coûte peu alors que celle d'une usine thermique est obligée de faire un appel constant au charbon et, notre production étant insuffisante, aux charbons étrangers. Seules, les usines de la région du Nord et de l'Est et du bassin parisien dépourvues de houille blanche, arrivent à se contenter de notre production.

A l'heure actuelle, on constate que les $\frac{3}{5}$ du courant consommé par notre pays sont fournis par les usines thermiques alors que le reste est issu des centrales électriques.

Il semble que cette proportion ne restera pas immuable. Nous pouvons nous considérer encore à l'heure actuelle comme étant dans la période initiale où la lutte entre les centrales thermiques et les centrales hydrauliques se révèle indécise. Au lieu d'opposer ces formes concurrentes, il faudrait plutôt chercher à en faire des modes de production complémentaires.

Il semble d'autre part, qu'après l'amortissement des capitaux investis et la disparition des charges financières d'un côté et de l'autre, l'énergie hydraulique doit acquérir une suprématie incontestable.

L'énergie hydraulique s'acheminera vers cette suprématie au fur et à mesure que les allègements des charges financières, par le jeu des remboursements partiels, viendront améliorer sa position vis-à-vis de ses concurrents.

Seules les cinq ou dix premières années peuvent être pénibles à passer pour certaines industries dont la trésorerie est à l'étroit.

Au point de vue financier, les conditions de substitution de l'énergie électrique consommée par les sous-stations de traction, au charbon consommé par les locomotives à vapeur seront déterminées en faisant la balance entre les frais de

la traction à vapeur et les frais de la traction électrique et en négligeant les dépenses d'acquisition du matériel roulant dans l'un et l'autre cas, car elles se compensent sensiblement. Les frais de la traction à vapeur comprennent :

- 1) Les frais d'achat du combustible ;
- 2) Les frais de conduite, d'entretien et de réparation des locomotives.

Les frais de la traction électrique comprennent :

- 1) Les charges annuelles d'intérêts et d'amortissement des dépenses d'installation du matériel fixe (lignes de transport d'énergie, postes de transformation, sous-stations, lignes de contacts, etc...) ;

2) Les dépenses d'énergie électrique correspondant à un service de traction identique à celui réalisé avec la traction à vapeur ;

3) Les frais de conduite et d'entretien des sous-stations, les dépenses d'entretien et de réparation des lignes de contact.

En fait, les prix d'électrification sont très variables, non seulement suivant le nombre de voies, le nombre de sous-stations de transformation, le type d'alimentation (caténaire ou troisième rail) mais également suivant les équipements des voies de gare, les types de signalisation, les dispositifs de sécurité (1).

L'augmentation de vitesse obligera souvent la Compagnie à modifier l'infrastructure de la voie (cependant nous remarquons qu'après les essais de locomotives à grande puissance, il a été reconnu que celles-ci avaient l'avantage

(1) Pour supprimer les perturbations causées par les phénomènes d'induction, on est obligé, dans certains cas, de déplacer les lignes télégraphiques ou téléphoniques.

d'être d'un poids moins élevé et mieux réparti et jouissaient d'une plus grande stabilité rendant les efforts de traction beaucoup plus réguliers).

Les frais varient en outre, toutes chose égales d'ailleurs, d'une ligne à une autre, d'une ligne de plaine à une ligne de montagne.

M. Parodi en 1925 donnait les chiffres suivants :

Dépenses d'établissement par km. de ligne	}	Lignes à 4 voies	800.000
		Lignes à 3 voies	650.000
		Lignes à 2 voies	470.000
		Lignes à 1 voie	250.000

Plus près de nous, la ligne Paris-Le Mans en double voie a coûté environ 1.450.000 francs le km. et la ligne Tours-Bordeaux en double voie également doit monter à 1.950.000 le km.

AUTRES AVANTAGES DE L'ÉLECTRIFICATION

Les bienfaits de l'électrification ne consistent pas seulement en l'économie appréciable qu'on réalise sur la consommation, et partant, sur l'importation du charbon. Sinon l'on ne comprendrait pas comment des pays très riches en houille auraient songé à l'électrification.

Ces avantages peuvent se décomposer en deux catégories :

- Avantages techniques et économiques,
- Avantages professionnels et sociaux.

A. — *Avantages techniques et économiques.* — En soignant les intérêts de l'usager, la Compagnie verra celui-ci revenir au rail qu'il avait délaissé pour l'automobile.

1. — A l'époque de la concurrence du rail et de la route, la fréquence et la rapidité des relations sont une bonne propagande et un atout très appréciable en faveur d'une Compagnie.

L'emploi de la traction électrique permet d'accroître la vitesse commerciale sans accroître proportionnellement la vitesse maximum de laquelle les moyennes atteintes sont beaucoup plus proches. Cet accroissement de la vitesse sera fonction des démarrages plus rapides et des reprises plus faciles que dans la traction à vapeur ; en outre les sections en rampes ne seront plus la cause des grandes variations de vitesse. La locomotive électrique contribuera d'une autre manière à l'amélioration de la durée des trajets : la con-

duite des locomotives étant, de beaucoup, facilitée, l'équipe peut soutenir un trajet plus long que permettent d'autre part l'échauffement moindre des moteurs et la suppression des arrêts nécessités pour la recharge d'eau.

En outre, la plus grande puissance des locomotives électriques (4.000 CV. au lieu de 2.000 à 2.500 CV. des locomotives à vapeur) permettra l'accroissement de la charge des trains.

Pour toutes ces raisons, la capacité de débit d'une ligne se trouvera grandement améliorée.

Sur certaines lignes, les résultats ont été particulièrement heureux :

a) Les lignes à très gros trafic (ex. : Paris-Orléans) où le nombre des convois pourra être augmenté.

b) D'autres lignes à trafic important qui pourront être parfois déchargées des trains de marchandises de petite vitesse lorsque une ligne de dédoublement à profil accidenté et autrefois interdit, s'ouvrira à ces derniers (ex. : la ligne Neussargue-Béziers par où sont évacués les trains vinicoles du Languedoc, ce qui allège par suite le trafic des lignes de la vallée du Rhône).

c) Les lignes de banlieue où, aux heures d'affluence, il faut en très peu de temps évacuer une énorme quantité de voyageurs. Sur ces lignes les automotrices à moteurs réversibles ont permis la suppression des voies de dégagement que la locomotive tractive était obligée d'emprunter pour se replacer en tête du train. En rapprochant la banlieue du centre, l'électricité accomplit une œuvre d'urbanisme.

2. — Un avantage que le voyageur apprécie directement est le confort. Sur certaines lignes à rampes fortes, on peut mettre en circulation des voitures plus lourdes et plus con-

fortables (les voitures à boggies étaient, jusqu'à présent, exclues de nombreuses lignes de montagne).

Le voyageur goûtera aussi la douceur des départs et des arrêts et bénéficiera d'un éclairage et d'un chauffage plus réguliers.

3. — Avec la traction électrique, il ne sera plus question, non seulement du bruit des sifflets, mais encore de la fumée et de la poussière de charbon dont les riverains souffraient autant que les usagers.

La fumée n'est pas qu'un désagrément important, elle est aussi une cause de danger sous les tunnels mal aérés (danger d'asphyxie) (visibilité très mauvaise des feux) (1).

4. — Combien nombreux sont aussi les incendies causés par les flammèches incandescentes échappées de la locomotive. Ces incendies grèvent parfois lourdement le budget des Compagnies. Nous pourrions citer comme exemple la ligne Bordeaux-Hendaye qui traverse de grandes forêts de résineux ; où les sinistres étaient importants. Grâce à la traction électrique les Compagnies ont été allégées de la charge des indemnités allouées aux riverains sinistrés.

5. — La question d'un freinage puissant et sûr a été résolue en Suisse et aux U. S. A. par le freinage par récupération (2).

6. — Pour en terminer avec ces questions de la sécurité que procure l'électricité, nous pourrions citer l'innovation réalisée par les Chemins de fer de l'Etat sur Paris-Le Mans.

Pour régler la circulation sur cette ligne, deux cerveaux

(1) Ce sont les raisons pour lesquelles l'électricité, seule, permit la création de chemins de fer souterrains (Métropolitain 1898) (Austerlitz - Orsay 1900).

(2) Celui-ci permet en outre une économie d'énergie.

veillent qui sont : le Régulateur de l'exploitation, le Régulateur des sous-stations.

Le Premier, renseigné à chaque instant sur la position de tous les trains, les voit sur son graphique comme s'il embrassait, avec un recul suffisant, les 200 km. de la ligne : il les suit, les laisse faire lorsque tout se passe bien, mais au premier incident, intervient.

Le Second, placé au centre de ses tableaux, voit aussi l'ensemble de la ligne, mais en électricien. Il sait quelles positions occupent dans chaque sous-station les différents organes, il peut à volonté supprimer ou rétablir le courant sur une section quelconque. Il règne en maître sur la caténaire, il dispense aux trains l'énergie sans laquelle ils deviennent inertes : mais il travaille pour son camarade le Régulateur de l'exploitation qui, seul, commande les mouvements. Un incident survient-il sur la voie électrique, les deux Régulateurs installés côte à côte se concertent et choisissent la mesure la plus opportune, décision incomparablement plus éclairée que pourrait l'être celle d'un agent à pied d'œuvre ignorant ce qui se passe en dehors de lui, et décision suivie d'une action immédiate exécutée à 100 ou 200 km. de distance avec une sécurité totale.

Mais l'usage de l'électricité nécessite l'emploi de mesures spéciales concernant la protection des usagers et du personnel contre les dangers particuliers que peuvent présenter notamment les lignes de contact (fil aérien ou rail conducteur) et l'appareillage électrique des locomotives et automotrices.

L'efficacité des mesures prises est prouvée par la rareté des accidents imputables à l'emploi de l'énergie électrique pour la traction. La plupart des accidents résultent d'une faute de la victime, de son imprudence ou de sa négligence.

Ces accidents surviennent surtout au début de l'électrification et affectent principalement le personnel encore insuffisamment familiarisé avec les précautions qu'il doit prendre pour assurer sa propre sécurité ; d'où la nécessité de soigner spécialement cette partie de la formation professionnelle pour le personnel nouvellement recruté ou occupé temporairement, ainsi que pour le personnel d'entreprise.

B. — *Intérêt social et professionnel.* — Si nous n'étions pas à une époque de crise et de chômage, nous pourrions louer la facilité de recrutement du personnel dont bénéficie une Compagnie électrifiée, puisqu'on demande un travail plus simple et moins pénible.

Malheureusement, depuis quelques années surtout, à chaque place, quelle qu'elle soit, se présentent de nombreux candidats.

Ici, à l'attrait que les jeunes hommes ont pour la mécanique, est jointe la perfection du confort relatif dans lequel s'effectue le travail (cabine de conduite bien installée, accès facile des différents moteurs pour les réparations en cours de route et pour le nettoyage au garage ; la conduite ne demande en outre aucun effort musculaire).

D'autre part, l'apprentissage, qui, pour la conduite des locomotives à vapeur demande un an et plus, ne dure guère pour les locomotives électriques que de 3 à 4 mois.

A ces avantages, on peut ajouter que la Compagnie réalisera une économie de main-d'œuvre, bien que la marche des usines nécessite un nouveau personnel spécialisé. Les locomotives électriques ne demandent qu'un seul conducteur et même pour les trajets difficiles où deux locomotives couplées sont nécessaires, un seul mécanicien peut veiller à la marche du convoi. De plus, le personnel est mieux utilisé

parce que les opérations nécessaires à la mise en route et à l'entretien, qui, pour les locomotives à vapeur, sont de l'ordre de 1 h. 1/2 à 2 heures avant le départ et 3/4 d'heure à 1 heure à l'arrivée, sont supprimées.

En outre, une équipe quelconque peut conduire n'importe quelle automotrice alors que la locomotive à vapeur exige une équipe qui lui soit propre. Pour toutes ces raisons, l'organisation générale du service s'en trouve simplifiée et l'application des lois sociales (en particulier les 5/8) se trouve rendue plus facile.

(1) Le locotracteur électrique peut être garé indéfiniment, tout en étant prêt à travailler sur le champ.

L'ÉLECTRIFICATION DEVANT LA CRISE FINANCIÈRE ET LA CONCURRENCE

Les travaux d'électrification sont, si l'on peut dire, des travaux type pour période de crise (ex. : les Chemins de fer de l'Etat) :

1. — En raison des travaux considérables qu'ils exigent, il y a évidemment intérêt à profiter des meilleures conditions de premier établissement qu'on peut trouver au cours de ces périodes.

2. — Ils sont parfaitement « rentables » et sont donc susceptibles d'une solution financière normale.

3. — Ils ne créent pas un nouvel outillage de production et ne risquent pas d'accentuer le déséquilibre qui caractérise toutes les périodes de crise.

4. — Tout au plus, pourrait-on, sous ce rapport, leur reprocher de nous obliger à restreindre la production des houillères à raison des économies de combustible que la traction électrique procure.

Une critique beaucoup plus grave a pu être opposée à l'encontre des travaux d'électrification des voies ferrées, mettant en doute leur utilité même.

« Il peut être imprudent d'affecter des sommes considérables à l'électrification des lignes, alors que la politique du Ministre des Travaux Publics est orientée dans le sens de la coordination des transports et se traduira par une diminution du trafic par voies ferrées. » (1)

(1) J. Moch.

La Commission des Finances de la Chambre ne se rallia pas à cet avis, et, après avoir entendu le Ministre des Travaux Publics qui insista sur l'utilité de la rentabilité et l'efficacité contre le chômage des travaux proposés, les a finalement maintenus.

Si le trafic des lignes secondaires est incontestablement appelé à décroître, du fait de la concurrence des transports automobiles, il n'en est pas de même pour les lignes principales, courants de transport lourd à grande distance.

L'argument de M. Moch aurait une valeur s'il était question d'électrifier globalement un réseau complet y compris les lignes secondaires. Mais, pour ces dernières, l'usage des Diesel paraît de beaucoup préférable.

Cette controverse paraît d'ailleurs close par la décision du Conseil Supérieur des Chemins de fer fixant à 6.500 km. le développement total des lignes à grand trafic pour lesquelles l'électrification apparaît comme une opération rentable.

C'est pour d'autres raisons (problème militaire, désir de laisser à la traction autonome un programme de construction de matériel qui lui permette de poursuivre ses progrès techniques) que le Conseil Supérieur des Chemins de fer a limité le programme de première urgence à 2.340 km. de voies.

PROGRAMME DE 1920

L'électrification des chemins de fer doit être envisagée à un point de vue très général et le choix des lignes à électrifier doit être dirigé surtout par l'étude d'ensemble des transmissions d'énergie en France.

C'est guidé par ces idées maitresses, que fut élaboré le programme de 1920 sous le ministère Le Trocquer (1).

Le 14 novembre 1918, était créé un Comité d'études en vue de l'électrification des réseaux de chemins de fer.

Ce Comité était présidé par M. Cordier, président du Conseil d'Administration de la Compagnie d'énergie électrique du littoral méditerranée et comprenait des représentants de l'administration, de l'industrie et des 6 grands réseaux.

On élaborait un programme d'études qui devaient se partager deux sous-commissions, l'une administrative, présidée par M. Mussat, l'autre technique, présidée par M. Monmerqué.

Le Comité n'avait à s'occuper que des grandes lignes.

a) On ne devait envisager surtout que les lignes susceptibles d'électrification hydroélectrique d'où la nécessité d'une étude sur l'importance et la position des chutes d'eau.

b) On appliquerait d'abord la traction électrique sur les

(1) Déjà des projets très vastes avaient été élaborés sur le Midi et le P.O., lorsque la guerre vint détourner à son profit tous les efforts.

lignes où elle serait le plus avantageuses (lignes de montagne, lignes à grand trafic).

c) Les études devaient être limitées aux réseaux du Midi, du P. O. et du P. L. M., en raison de la proximité pour un grand nombre de leurs lignes, des chutes des Pyrénées, du Massif Central et des Alpes.

L'idée de n'électrifier que les lignes susceptibles de recevoir de l'énergie hydroélectrique s'imposait à cette sous-commission.

Notre pays étant riche en houille blanche, il était naturel que l'on pensât à utiliser cette force.

La sous-commission technique s'occupa tout particulièrement du type de courant à adopter et délégua des missions à l'étranger, en particulier aux U. S. A. Malgré les divergences constatées entre les différents systèmes étrangers, une solution rallia finalement tous les suffrages : le continu de 1.500 V fut choisi, parce qu'il permettait de relier l'électrification des réseaux au plan général d'électrification de la France en utilisant comme courant primaire le triphasé à haute tension (50 périodes) produit par les centrales électriques du pays. C'est sur ces bases que fut fixé le programme dit « de 1920 » qui comportait l'électrification d'environ 9.000 km., non compris les lignes de la banlieue parisienne.

Il est intéressant de noter que ce programme envisageait l'électrification de 21 % des réseaux français qui comprennent 41.487 km. de lignes. (En 1930 la proportion électri-
fiée était en Suisse de 54 %, en Italie de 11,6 % en Suède de 7,3 %, en Norvège de 6,8 %).

La répartition projetée était la suivante :

P. O.	2.544 km.,	soit 1/3	du réseau
P. L. M. ..	3.277	»	1/3 »
Midi	3.150	»	3/4 »

D'après les prévisions de l'époque, le programme d'électrification devait entraîner une dépense totale d'environ 5 milliards, répartis sur une vingtaine d'années et comprenant l'équipement des usines de production, les artères d'alimentation, l'équipement électrique, les appareils locomoteurs.... (1).

Si seuls le sud et le centre de la France devaient être électrifiées c'est que deux raisons s'imposaient :

a) l'emplacement géographique de l'énergie hydraulique (2).

b) le département de la guerre était à la fois favorable et défavorable à l'idée d'électrification.

(1) Al. 19, art. 21, Convention de 1921 :

« Les Compagnies renoncent, en cas de rachat, au remboursement des dépenses complémentaires qu'elles seront autorisées à engager, après la mise en vigueur de la présente convention, pour la construction d'usines génératrices d'électricité et de lignes de transport à haute tension en vue de la traction électrique. »

En cas de rachat, suivant le texte ci-dessus, n'entreraient en compte pour le remboursement en capital dans les conditions applicables aux travaux complémentaires, que les travaux d'équipement électrique ; les usines et les artères d'alimentation ne seront pas remboursables ; les appareils locomoteurs seront remboursés suivant les règles applicables aux objets mobiliers (al. 18).

Cette disposition est la consécration d'une clause qui figurait déjà dans les décisions ministérielles approuvant l'imputation des dépenses d'électrification au compte des travaux complémentaires et, en vertu de la clause dite « de remboursement des 1/15 » ne devait pas jouer pour la partie des travaux concernant la production de l'énergie électrique et son transport à haute tension jusqu'aux abords immédiats du chemin de fer.

(2) Voir *infra* page 24.

1. — Certains étaient d'avis d'en demander la généralisation la plus large possible afin de réduire au minimum la consommation du charbon de nos locomotives et faciliter l'approvisionnement de nos usines de guerre en combustible, approvisionnement qui serait particulièrement délicat en cas de blocus de nos côtes.

2. — Les partisans de la non-électrification du nord et de l'est s'appuyaient pour étayer leur thèse sur :

a) la vulnérabilité des installations électriques, aussi bien des usines, que des sous-stations et que de l'appareillage électrique.

b) le fait que la traction à vapeur, en période d'hostilités, est préférable, en raison de son autonomie.

D'où la nécessité de garder un grand parc de locomotion à vapeur. C'est cette double augmentation qui fit écarter l'idée d'électrification du nord et de l'est.

Délaissant le point de vue militaire, les techniciens désiraient conserver des réseaux non électrifiés assez étendus pour permettre la continuation des progrès dans l'industrie de la machine à vapeur.

Malheureusement, la crise financière devait, là aussi, se faire durement sentir : quelques années plus tard, la commission des Economies réexaminait le problème et concluait à un ajournement de l'électrification en raison de la détresse financière.

Cependant vers 1929, le bilan des lignes électrifiées était loin d'être négligeable puisque 1.066 km. étaient en service, ce qui mettait la France au premier rang des pays d'Europe.

NOUVEAU PLAN D'ÉLECTRIFICATION

De 1931 à 1933, le Conseil Supérieur des Travaux Publics, le Conseil Supérieur des Chemins de fer (1), le Conseil National Economique reprenaient l'étude d'ensemble de la question et concluaient à l'opportunité de réaliser immédiatement un programme d'électrification qui était limité à 2.340 km., sans tenir compte de la ligne Montauban-Sète dont les travaux d'électrification étaient déjà envisagés.

Le Conseil Supérieur des Travaux Publics était parvenu à dresser une liste de lignes pour lesquelles l'électrification apparaissait comme certainement payante. Cette liste comprenait :

1. — l'achèvement de l'électrification du Midi,
2. — l'achèvement de l'électrification de Paris à Bordeaux,
l'achèvement de l'électrification de Paris à Montauban,
3. — la construction de la ligne Paris-Le Havre,
la construction de la ligne Paris-Le Mans,

(1) La Convention de 1921 (art. 10), qui prévoit que « la concession d'une ligne non encore concédée ne pourra être faite que sur l'avis du Conseil supérieur des Chemins de fer », s'applique-t-elle aux dépenses d'électrification ? S'il s'agit d'électrifier une ligne nouvelle, les travaux sont des accessoires de cette ligne et l'art. 10 trouve son application ; par suite, les dépenses sont partagées en principe à raison de 4/5 pour l'Etat et 1/5 pour la Compagnie. S'il s'agit au contraire de l'électrification d'une ligne en exploitation, l'art. 10 ne joue plus, car ces dépenses se rapportent à de véritables travaux complémentaires.

4. — la construction de la partie sud du P. L. M. (Lyon, Marseille et Côte d'Azur).

C'était un problème suffisamment vaste pour les possibilités actuelles.

Enfin, l'article 2 de la loi du 7 juillet 1934 (plan Marquet) (1) autorisait les grands réseaux à émettre de 1934 à 1940, 2.725 millions d'obligations, en sus des autorisations déjà accordées par la loi de finances sur le fonds commun institué par le décret du 15 mai 1934, à l'aide des disponibilités jusqu'à concurrence de 75 % de majoration et de solidarité de la Caisse des Assurances Sociales.

Sur ce total : 1.300 millions devaient être consacrés à l'électrification des lignes : Culoz-Chambéry, Paris-Gretz, Paris-Château-Thierry (Est), Paris-Le Mans et Tours-Bordeaux (2).

Telles sont dans leurs grandes lignes, les principales décisions prises par les pouvoirs publics.

Certains milieux économiques reprochent à l'Etat l'aide financière qu'il donne aux réseaux en vue des travaux d'électrification. Ce n'est pas comprendre l'intérêt de la collectivité qui a, en outre, le devoir d'assurer cette réalisation.

Les bénéfices que la collectivité nationale en retire, sont :

- a) économie de charbon ;
- b) augmentation de la capacité de trafic ;
- c) économie et meilleur emploi du matériel ferroviaire ;
- d) renforcement de l'outillage national ;
- e) diffusion de l'électricité sur le territoire.

L'Etat n'a pas que des bénéfices individuels et éloignés

(1) Décret du 15 mai 1934.

(2) Les lignes Paris-Le Mans et Tours-Bordeaux ont été mises en chantier au titre des travaux contre le chômage.

à attendre de l'électrification de nos chemins de fer. Il peut être assuré d'y trouver des profits que l'on peut considérer comme directs (perfectionnements apportés d'une façon générale dans le service ferroviaire, travaux d'aménagement de chutes et d'équipement de voies).

Comme tous ces travaux deviendront propriété de l'Etat à l'expiration des concessions, c'est bien le moins que l'Etat accorde quelque aide pécuniaire à leur accomplissement.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ÉCONOMIQUES

L'électrification est en général caractérisée, au point de vue économique, par une forte augmentation des charges de capital, par des économies souvent considérables sur les frais d'exploitation, et enfin, par des avantages indirects qui peuvent jouer dans certains cas un rôle prédominant : le bilan de l'électrification doit donc englober tous ces éléments :

I. — Le bilan est toujours difficile à établir de façon précise à cause de l'incertitude de l'évaluation de certains éléments, parfois fort importants.

II. — La diversité des méthodes comptables rend difficile le rapprochement des bilans, établis par des administrations différentes, notamment en ce qui concerne l'amortissement industriel des installations et du matériel.

III. — Le montant des charges des capitaux peut dépasser celui des frais d'exploitation dans le cas de la traction électrique, alors qu'il n'en représente qu'une fraction peu élevée pour la traction à vapeur ; les fluctuations du trafic sont susceptibles de modifier radicalement la physionomie du bilan du trafic.

IV. — En dehors des cas spéciaux (banlieue de grandes villes, lignes de montagnes, lignes arrivées à la limite de leur capacité, prix anormalement élevé du combustible, etc...) l'électrification n'est généralement économique que si le loyer de l'argent est acceptable, si l'énergie électrique

peut être obtenue à un prix favorable et si le trafic est d'autant plus intense que le profil est moins accidenté.

V. — Les considérations économiques propres au chemin de fer ne sont pas les seules qui peuvent conduire à décider l'électrification d'une ligne : on peut y être amené soit par des considérations relatives à l'économie générale du pays, soit par des nécessités d'ordre technique.

VI. — Sous réserve des exigences spéciales de la traction électrique, le choix de l'emplacement des usines génératrices destinées à l'alimentation en énergie des voies ferrées électrifiées, découle des mêmes considérations que s'il s'agissait d'usines desservant des réseaux de distribution ou de grands centres de consommation.

Les Questions Juridiques posées par l'Électrification

INTRODUCTION

Les chemins de fer n'ont pas un régime juridique qui leur soit propre, aucune règle spéciale n'a été posée à leur intention par les législateurs ; tout juste les a-t-il mentionnés dans certains articles. Nous devons donc nous reporter aux règles générales de la production et de la distribution de l'énergie électrique. La législation de l'électricité est courte et imprécise, la jurisprudence a dû maintes fois suppléer à ses défaillances.

Les lois sont au nombre de deux :

Loi du 16 octobre 1919.

Loi du 15 juin 1906.

La première concerne le régime des chutes d'eau et la production de l'énergie électrique d'origine hydraulique. (1) La seconde a trait au régime de la distribution et du transport d'énergie.

(1) Pour la production de l'énergie thermique, aucune règle n'avait été prévue jusqu'à des temps très récents.

RÉGIME DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

Usines thermiques

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la force électrique pouvait être fournie soit par l'usine thermique, soit par l'usine hydraulique.

Le premier type est d'intérêt très restreint au point de vue juridique.

Assimilable à une usine quelconque, l'usine thermique ne pouvait préoccuper le législateur. Les principes généraux du Code Civil lui sont donc applicables.

Jusqu'à des temps très proches, les usines thermiques d'électricité ont pu se développer sans que les pouvoirs publics envisagent de restreindre leur régime de liberté soit par un contrôle, soit par une autorisation.

Il convient de mentionner cependant l'enquête à laquelle certaines installations de réputation insalubre peuvent être astreintes. Le carburant peut en effet être, suivant le cas : charbon naturel ou pulvérisé, coke, lignites, ordures ménagères, huiles lourdes, gaz de hauts fourneaux, fours à coke et nécessiter cette enquête. Le régime libéral des usines thermiques a trouvé sa première atteinte dans le décret-loi du 30 octobre 1935 relatif au régime de l'électricité. Ce texte a pour origine la crise actuelle et la crainte d'un avilissement du prix du kilowatt heure sous l'action convergente de la surproduction et de la concurrence entre les entreprises.

Dorénavant, l'établissement d'une usine thermique d'une

puissance supérieure à 1.000 kilowatts ayant pour objet la fourniture d'énergie électrique soit au public soit à des services publics, nécessite l'autorisation préalable du Ministre des Travaux Publics, celle-ci n'étant donnée qu'après avis du Conseil Supérieur de l'Electricité.

La même autorisation est évidemment requise pour le renforcement d'une installation existante.

Le décret interdit en outre de raccorder sans autorisation du Ministre, une usine thermique existante d'au moins 1.000 kilowatts à un réseau de distribution.

Usines hydrauliques

Des contestations relatives aux droits de propriété, de riveraineté, d'écoulement des eaux, toutes questions traitées trop brièvement par le Code Civil, ne pouvaient laisser longtemps le législateur indifférent.

Il ne s'agissait plus simplement d'un droit de propriété, mais de richesse nationale, il fallait mettre un terme au gaspillage commençant. L'industrie hydraulique, que des intérêts multiples et divergents se disputaient, ne devait pas sombrer dès sa naissance dans l'anarchie.

La loi du 16 octobre 1919 est plus ou moins copiée sur la loi du 21 avril 1810 (1), remaniée en 1919 elle aussi. De nombreux points sont communs : l'idée en était que, tout en respectant les droits des riverains, l'Etat ne devait octroyer des concessions importantes qu'à un propriétaire ou un groupement susceptible d'employer la force hydraulique au mieux de l'intérêt général (2).

(1) Loi organisant le régime des mines.

(2) La loi de 1919 est un exemple de la législation hâtive du lendemain de la guerre. Le renouvellement du mandat approchait et il fallait rapidement voter tout le programme fixé.

Régime antérieur à 1919

Avant la loi du 16 octobre 1919, l'utilisation de l'énergie des petits cours d'eau et des torrents était soumise aux applications du Droit commun : ainsi ces eaux courantes qui ne sont ni navigables, ni flottables, sans quoi elles feraient partie du Domaine public, sont à la disposition des propriétaires riverains, à la seule charge pour eux de les rendre à la sortie de leurs fonds à leur cours naturel (art. 664 du Code Civil).

La question ne présentait donc pas de difficultés : les installations étaient autorisées par un arrêté préfectoral qui suffisait à l'exercice de ce droit. Ces installations étaient d'ailleurs considérées comme purement privées et « l'autorisation administrative n'avait à leur égard d'autre portée que celle d'une mesure de police, tendant, comme pour les établissements dangereux, incommodes et insalubres, à lever l'obstacle qui s'opposait à l'exercice normal d'une activité prévue » (1).

Nous constatons que les seules restrictions au droit du propriétaire n'avaient trait qu'à la sauvegarde des droits des usagers inférieurs, aux dangers d'inondations et d'insalubrité.

De ceci, il résulte que l'industriel qui désirait utiliser l'énergie d'un cours d'eau devait se rendre acquéreur d'une portion de rive. Au début, ce système satisfit assez bien tout le monde ; l'industriel achetait le terrain, s'installait, construisait son usine.

Mais bientôt lorsque les riverains se rendirent compte de la valeur de la puissance hydraulique, leurs exigences se révélèrent plus vives.

(1) Mestre : *Jurisprudence de la Houille Blanche*.

Il est inutile de rappeler toutes les spéculations, les marchandages, les chantages qui entourèrent la naissance des grandes usines. Les mêmes difficultés et les mêmes marchandages se reproduisaient lorsque l'industriel dérivait les eaux. Le résultat le plus clair était de rendre extrêmement élevé le prix d'équipement des usines et d'aboutir à des travaux conduits irrationnellement.

Il est nécessaire de rappeler ici en quelques mots la technique de l'installation antérieure à 1919. L'industriel désireux d'établir une usine hydro-électrique, prenait un cours d'eau à débit d'étiage aussi élevé que possible, choisissait dans cette vallée, de préférence l'emplacement d'un ressaut, c'est-à-dire un point où la pente moyenne du cours d'eau présentait un maximum. Il y avait ainsi pour le maximum de chute le minimum de longueur de canal d'aménée et par suite le minimum de frais.

De réservoirs, il n'en était guère question, ils étaient trop chers et d'ailleurs en installant l'usine à bas prix pour un débit qui était presque celui de l'étiage, il n'était nullement nécessaire de compliquer l'affaire par l'étude de réservoirs, même journaliers.

Une pareille manière de procéder présentait les inconvénients les plus graves dont le moindre était de rendre pratiquement impossible l'installation dans la même vallée d'autres usines qui, produisant l'énergie à un prix de revient beaucoup plus élevé, étaient beaucoup moins rémunératrices.

A côté du régime généralement applicable, il convient de rappeler le régime spécial de certaines chutes dont l'aménagement était assimilable à une opération de Travaux Publics.

Il en était ainsi des chutes équipées par une Compagnie

de chemins de fer ou de distribution, en vue d'alimenter son réseau et par suite d'assurer le fonctionnement d'un service public : éclairage et transport.

L'installation d'un réseau constitue une opération de Travaux Publics. L'aménagement de la chute et celui du réseau formant un tout indivisible, l'élément qui l'emporte et qui caractérise l'ensemble de l'opération est incontestablement une opération de Travaux Publics. « On sait qu'aux termes d'une jurisprudence constante, il suffit que d'un marché complexe apparaisse un élément de Travaux Publics pour que toute l'opération révèle ce caractère. » (1)

La loi de 1919 a mis fin à cet état de choses en soumettant la captation de l'énergie des chutes d'eau au contrôle étroit de l'administration et en obligeant les industriels à aménager rationnellement les ressources hydrauliques du pays (2).

Loi du 16 Octobre 1919

(Décret en la forme de Règlement d'Administration Publique
du 5 septembre 1920)

Les travaux préparatoires de la loi de 1919 furent longs et difficiles. Les premiers jalons avaient été jetés vingt ans auparavant et c'est aussitôt après la guerre, à une époque de réorganisation et pendant laquelle l'exercice du pouvoir législatif était tourmenté, que devait naître cette loi.

(1) Mestre : *Jurisprudence de la Houille Blanche*.

(2) Avant même la mise en application de la loi, la Compagnie des Chemins de fer du Midi avait présenté un projet d'aménagement des plus remarquables.

Selon l'expression de M. Mestre, cette loi est « le résultat d'un compromis entre individualistes et interventionnistes ». Elle innovait et apportait un bouleversement dans les principes « réactionnaires » du Code Civil. Il faut avouer que « les cadres » de celui-ci étaient devenus trop étroits.

L'innovation essentielle de la loi de 1919 a consisté à créer un bien spécial, l'*Energie électrique*, distinct de l'eau, qui en est le support.

La loi décide que nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau quel que soit leur classement, sans une concession ou une autorisation de l'Etat (art. 1^{er}) : désormais, ce bien spécial est devenu chose d'Etat. Et le bénéficiaire de l'énergie hydraulique, en principe concessionnaire, a partie liée avec l'administration.

Par cette loi de 1919, le législateur a établi un régime bien précis concernant la production de l'énergie électrique et sur lequel on est à présent bien renseigné. Malheureusement, s'il est une question que le législateur a passée systématiquement sous silence, c'est la plus grave de toutes celles qui se posaient à lui : la nature juridique de la force hydraulique, et l'on peut encore à l'heure actuelle, se demander si et dans quelle mesure la force hydraulique figure dans le patrimoine du riverain. La jurisprudence a dû suppléer aux insuffisances de la loi. Il est une autre question d'importance sur laquelle la loi est muette : devons-nous considérer les travaux d'aménagement des chutes d'eau comme des Travaux Publics ? Et en cas de conflit, à quelle autorité s'adresser pour statuer sur les litiges soulevés à ce sujet ?

Les articles 4 et 6 de la loi prévoient la compétence civile pour les litiges survenant entre concessionnaires et propriétaires « mais la question demeure entière pour tous les autres litiges notamment ceux qui posent la question des

dommages proprement dits et tous ceux qui peuvent s'élever entre le concessionnaire et l'administration » (1).

De nombreux auteurs ne veulent pas assimiler à des Travaux Publics, les travaux d'aménagement hydraulique effectués par un concessionnaire :

D'une part, ils s'appuient sur l'article 4 et l'article 6 qui organisent un contentieux judiciaire. D'autre part, se basant sur certains rapports établis lors de la préparation et de l'élaboration de la loi, ils rapprochent les concessions hydrauliques des concessions de mines.

A ces arguments, M. Mestre oppose « que la concession de mines se présente comme un acte unilatéral de l'administration, la concession de chute comme un contrat » (elle comporte un accord de volontés, l'adoption d'un cahier des charges, enfin l'administration et le concessionnaire contractent un engagement réciproque).

En outre, du fait de l'administration, des sujétions multiples grèvent l'exploitant (la principale : le concessionnaire n'a la faculté d'orienter son exploitation que dans les limites autorisées par l'administration).

M. Mestre termine son argumentation en s'appuyant sur le fait que le Conseil de Préfecture est compétent pour connaître des litiges entre concédant et concessionnaires (art. 59 du Cahier des Charges type).

La loi n'ayant pas tranché le différend, c'était à la jurisprudence de se prononcer et de nous donner la clé du problème (cf. arrêt de Sigalas) (2). L'arrêt Sigalas considère

(1) Mestre : *Jurisprudence de la Houille Blanche*.

(2) Ar. C. E. 22 juin 1928 (Recueil Mensuel Dalloz 1928-III-49 et note de A. Pepy. — Commentaires de M. Mestre dans le *Génie Civil* du 14 juillet 1928 et dans le Recueil Hebdomadaire Dalloz du 4 octobre 1928. — Commentaires de M. Blaevoet : *l'Electricien* du 15 janvier et 1^{er} février 1929).

les travaux du concessionnaire de chute comme des Travaux Publics, pour des raisons qui paraissent directement inspirées de l'arrêt « commune de Montségur » (2). Aux termes de cet arrêt deux conditions sont exigées pour qu'il y ait Travaux Publics. Le Conseil d'Etat démontre qu'elles sont remplies. D'une part, les Travaux sont effectués pour le compte d'une personne administrative, puisqu'ils doivent faire retour à l'Etat en fin de concession. D'autre part, l'aménagement des chutes d'eau poursuit une fin d'Utilité Générale. Sur ce point, l'argumentation de l'arrêt apparaît comme nuancée et subtile. Dans l'espèce, une partie de l'énergie produite, partie d'ailleurs très faible, 1/10, était réservée aux services publics — l'arrêt aurait pu tenir compte de ce fait et indiquer que l'usine était destinée à les alimenter au moins partiellement ; il s'est abstenu de cette constatation : il peut arriver en effet que dans certaines circonstances, des réserves n'aient pas été stipulées au cahier des charges et la préoccupation de l'arrêt a été de formuler une solution valable pour toutes les concessions de chutes.

Il en résulte que la compétence civile établie par les articles 4 et 6 de la loi, doit être considérée comme exceptionnelle et par suite, comme s'appliquant strictement aux cas prévus par ces textes. Aucune concession ou autorisation ne peut être accordée sans avis préalable des conseils généraux des départements, représentant des intérêts collectifs régionaux sur le territoire desquels l'énergie est aménagée. Eventuellement, les commissions départementales doivent être consultées au lieu et place des conseils généraux, quand ceux-ci ne sont pas en mesure de fournir leur avis

(2) Ar. C. E. 10 juin 1921 (D. 1922-III-26).

dans le délai réglementaire, qui est de un mois pour les autorisations et de deux mois pour les concessions. Il doit être statué sur les demandes aux fins d'autorisation ou de concession dans un délai de 6 mois pour les premières ou d'un an pour les secondes (art. 24).

Sont placées sous la régime de la concession :

1° Les entreprises qui ont pour objet principal la fourniture de l'énergie à des services publics de l'Etat, des départements, des communes, des établissements publics ou à des associations syndicales autorisées et dont la puissance maxima (c'est le produit de la hauteur de la chute par le débit maximum de la dérivation) excède 150 kilowatts.

2° Les entreprises dont la puissance maxima excède 500 kilowatts quel que soit leur objet principal. Toutes les autres entreprises sont sous le régime de l'autorisation.

L'enquête locale étant close, un décret en Conseil d'Etat accorde la concession (art. 35).

Dans certains cas une loi est nécessaire :

1° Lorsque les travaux d'appropriation de la force comportent le déversement des eaux d'un bassin fluvial dans un autre ; 2° le détournement des eaux sur une longueur de 20 km. mesurés suivant le lit naturel ; 3° lorsque la puissance normale excède 50.000 kilowatts.

Un cahier des charges est annexé à l'acte de concession, qui devra déterminer le règlement d'eau et en particulier les mesures intéressant la navigation ou le flottage, la protection contre les inondations, la salubrité publique, l'alimentation et les besoins domestiques des populations riveraines, l'irrigation, la conservation et la libre circulation du poisson, la protection des paysages.

En outre, ce cahier des charges doit fixer le délai d'exécution des travaux, la durée de la concession qui ne peut être supérieure à 75 ans. A compter de l'expiration de ce délai, les réserves en eau et en force à prévoir, s'il y a lieu, au profit des services publics de l'Etat, des départements, des communes, des établissements publics, doivent être tenues à la disposition des ayants droit (le cahier des charges peut imposer au concessionnaire l'édification de certains travaux en vue de l'utilisation de ces réserves.

En ce qui concerne la durée de la concession, l'examen de la loi nous indique que si la durée de la concession ne peut excéder 75 ans, elle peut être prolongée pour une durée de 30 années, susceptible elle-même de prorogation ; aux termes de l'article 13, l'administration, dix ans au moins avant l'expiration de la concession, doit notifier au concessionnaire si elle entend ou non la lui renouveler. A défaut par l'administration d'avoir, avant cette date, notifié ses intentions, la concession est renouvelée de plein droit, mais pour 30 ans seulement. Il en est de même pour les concessions renouvelées par tacite reconduction.

Voici donc les conditions essentielles de la loi de 1919. Mais après avoir élaboré cet ensemble de règles, le législateur a inséré un petit article, l'article 29, gros de conséquences, par lequel il décide que « les usines ayant une existence légale, ainsi que celles qui font partie intégrante d'entreprises déclarées d'Utilité Publique et pour lesquelles un règlement spécial sera arrêté par un décret rendu en Conseil d'Etat, ne sont pas soumises aux dispositions des titres I et V de la présente loi » (1). C'est écarter par là

(1) Thèse Galland (thèse Paris 1930) : *Des usines hydro-électriques alimentant des entreprises déclarées d'utilité publique.*

même les usines fournissant l'énergie nécessaire à la traction électrique et l'étude que nous avons faite jusqu'ici apparaîtrait inutile si la tendance n'était pas de faire participer toutes les usines à l'alimentation d'un réseau général (super-réseau) par l'emploi de leur excédent.

Le législateur a donc entendu écarter des dispositions générales de la loi de 1919 (sans doute en raison de leur importance) les usines qui font partie intégrante d'entreprises déclarées d'Utilité Publique ; il a décidé que pour elles un « règlement spécial serait arrêté par décret en Conseil d'Etat ». Faut-il interpréter ces termes en ce sens qu'il faut un Règlement d'administration publique pour fixer la situation de cette catégorie d'usines ? M. Lhuillier (1) est de cet avis. M. Galland (2) considère qu'il est préférable d'interpréter cet article 29 en ce sens qu'un Règlement d'administration publique doit être rendu en Conseil d'Etat pour chacune des usines considérées. L'administration avait d'ailleurs adopté cette manière de voir.

A l'appui de ce qui précède, nous pourrions donner l'exemple des concessions accordées pour l'aménagement de la Haute-Dordogne. Ces travaux avaient été envisagés et étudiés au programme de 1920. La loi de 1919 avait été promulguée. Les usines projetées faisant partie intégrante d'entreprises déclarées d'utilité publique (chemins de fer d'intérêt général) devaient échapper aux prescriptions de la loi de 1919 pour être soumises au règlement spécial arrêté par un décret en Conseil d'Etat (art. 29).

En raison de l'importance des travaux et de la parti-

(1) Lhuillier : *Législation des forces hydrauliques*.

(2) Galland (thèse 1930).

ception financière de l'Etat, une loi intervint, c'est l'article 133 de la loi de finances du 31 juillet 1920, qui autorisa le Ministre des Travaux Publics à concéder à la Compagnie du P. O. pour les besoins de l'électrification de son réseau, l'aménagement de la Haute-Dordogne et l'aménagement du Chavanon et de la Rhue. Si l'administration à laquelle s'était adressé le P. O. avait désiré une autorisation, la cause n'en était pas l'article 3 de la loi du 16 octobre 1919 qui exige une loi pour les travaux importants ; en vertu de l'article 29, la loi du 16 octobre 1919 n'avait pas à s'appliquer. Si nous lisons le texte de l'article 133, nous constatons que le Ministre des Travaux Publics est autorisé à concéder à la Compagnie P. O. « dans les conditions de la loi du 16 octobre 1919 ».

Après, il est porté que « cette concession fera l'objet d'un décret délibéré en Conseil d'Etat ».

Nous retrouvons là les termes de l'article 29, prescrivant que ces entreprises seront soumises à un décret spécial rendu en Conseil d'Etat. Ce décret spécial, qui a été rendu le 11 mars 1921, a autorisé et déclaré d'utilité publique les travaux.

Ce décret détermine un certain nombre de travaux à la charge de l'Etat :

Celui-ci doit réaliser à son compte les acquisitions de terrains et les ouvrages nécessaires pour la création de la force motrice dans la section concédée, savoir : les réservoirs, ouvrages de prise d'eau, canaux et conduites forcées, bâtiments des usines hydrauliques. Les usines hydrauliques sont donc incontestablement propriété de l'Etat et non de la Compagnie.

De son côté, la Compagnie a à sa charge tous les autres travaux et acquisitions de terrains ainsi que les subventions,

dans une certaine limite, aux réseaux ruraux désignés par le Ministre de l'Agriculture parmi ceux à établir dans les trois départements riverains. En outre la Compagnie supportera toutes les dépenses d'entretien et d'exploitation (1).

(1) Les conditions financières ont changé, la Compagnie du P.O. s'est trouvée dans l'impossibilité d'exécuter les travaux à ces conditions prohibitives. En 1926 ceux-ci ont été arrêtés. Un nouveau décret est intervenu en 1929 (décret du 5 août 1929) ; enfin en 1932 la question se posait de nouveau.

RÉGIME DES TRANSPORTS D'ENERGIE

Avant la loi du 15 juin 1906

En ce qui concerne les transmissions, nous retrouvons avant la loi de 1906, le régime anarchique qui était celui régnant pour la production avant la loi de 1919.

Mais si l'énergie hydraulique, promoteur naturel, existait en puissance, la transmission et la distribution de l'énergie électrique, qu'elle soit de source thermique ou de source hydraulique, naissaient à peine.

Point n'était besoin d'une réglementation autoritaire, à un régime simple, réglementation simple. La première fois que le législateur s'intéressa à la distribution d'électricité, ce fut pour la réglementer par la loi du 15 juin 1893, qu'une circulaire du 15 août 1893 du Ministre de l'Intérieur et des Travaux Publics, compléta. La réglementation ne visait aucunement la force motrice, mais seulement les distributions d'eau et de lumière ; elle n'envisageait que les distributions dans une commune (concession par le Conseil municipal).

Ensuite intervint la loi de 1895 qui apporte uniquement des mesures en faveur des lignes télégraphiques et téléphoniques.

Loi du 15 Juin 1906

Cette loi établit le régime des distributions d'énergie électrique.

Les modes prévus sont :

L'autorisation.

La permission de voirie.

La concession avec ou sans déclaration d'Utilité Publique.

Seule la concession déclarée d'Utilité Publique investit le concessionnaire des droits que les lois et règlements confèrent à l'administration vis-à-vis des tiers en matière de Travaux Publics et l'autorise par conséquent à pratiquer les expropriations nécessaires, suivant la loi du 3 mai 1841.

Ce qu'il y a d'essentiel à retenir, et c'est là une des particularités du texte de la loi de 1906, c'est que la déclaration d'Utilité Publique outre le droit d'expropriation, confère au concessionnaire le droit (art. 12) :

a) d'établir des conducteurs aériens à demeure à l'intérieur des immeubles, sous certaines réserves.

b) de faire passer ces conducteurs au-dessus des propriétés privées.

c) de faire passer les canalisations souterraines et d'établir les supports des conducteurs aériens dans les terrains privés non bâtis qui ne sont pas fermés de murs ou de clôtures équivalentes.

d) de couper les branches d'arbres qui, à proximité des conducteurs aériens, pourraient occasionner des courts-circuits ou avaries aux ouvrages.

Nous voyons ainsi l'étendue des servitudes légales dont jouit le concessionnaire, déclaré d'Utilité Publique. Seulement cette énumération est limitative. Le concessionnaire désireux d'obtenir des droits encore plus étendus devra recourir à l'expropriation (loi du 3 mai 1841) ou s'entendra à l'amiable avec les propriétaires.

Parmi les diverses dispositions de la loi, retenons l'art. 21 qui donne des facilités spéciales aux entreprises d'ouvrages publics antérieurement déclarés d'utilité publique (voies ferrées d'intérêt général ou local, canaux...) pour l'électrification de ces ouvrages.

Art. 21 :

« La déclaration d'Utilité Publique d'ouvrages à exécuter par l'Etat, un département, une commune ou une association syndicale de la loi du 26 juin 1865, modifiée par celle du 22 décembre 1888, ou par leur concessionnaire, confère à l'administration ou au concessionnaire, pour l'établissement ou le fonctionnement des conducteurs d'énergie employés à l'exploitation de ces ouvrages, les droits de passage, d'appui et d'ébranchage spécifiés à l'article 12 ci-dessus, avec application des dispositions spéciales édictées à cet effet par les règlements d'administration publique prévus à l'article 18.

« Le bénéfice de ces droits restera acquis à l'administration ou au concessionnaire, même dans le cas où l'énergie serait fournie aux conducteurs par une usine privée ou par une entreprise de distribution publique. »

Les grands bénéficiaires des dispositions de l'art. 21 sont les compagnies de chemins de fer qui peuvent exercer les servitudes de l'art. 12 de la loi 1906 sans avoir besoin d'obtenir une déclaration d'Utilité Publique spéciale pour leur transfert d'énergie à haute tension.

Inutile de dire que dans ce domaine encore, les difficultés ont surgi au moment de l'aménagement des lignes électriques sur les propriétés privées (CE 14 janvier 1928 — Dubarry et Noguès).

D'après la jurisprudence du Conseil d'Etat, la déclaration d'Utilité Publique d'ouvrages qu'il s'agit d'alimenter électriquement « dispense le concessionnaire de solliciter de

l'administration toute nouvelle concession pour profiter de servitudes » instituées par l'art. 12 de la même loi.

Ainsi, si l'exécution d'un ouvrage a été précédemment déclarée d'Utilité Publique, et si l'on veut électrifier cet ouvrage, il n'est pas nécessaire pour jouir des servitudes prévues à l'art. 12, d'obtenir une nouvelle déclaration d'Utilité Publique. L'utilisation des possibilités ainsi offertes ne fait pas de difficultés quand les conducteurs électriques sont compris dans les emprises des chemins de fer ou passent dans les communes où a lieu l'enquête d'Utilité Publique pour le chemin de fer.

Le risque d'expropriation plane sur les propriétaires, leurs droits sont moins atteints par « la servitude légale. »

La difficulté apparaît quand les conducteurs doivent emprunter le territoire de communes où l'enquête d'utilité publique n'a pas été ouverte. Le législateur n'a rien prévu. Sans doute, il pourra bien y avoir une enquête aux servitudes puisque l'art. 21 exige l'observation de formalités édictées par les règlements d'Administration Publique, mais cette enquête ne servira qu'à préciser les parcelles qui seront assujetties ; elle n'aura pas été précédée de celle qui avertissait les propriétaires des atteintes possibles à leurs biens fonds et ils seront désarmés alors que le législateur de 1841 avait voulu les protéger.

L'art. 21 de la loi de 1906, comportant une facilité exceptionnelle, doit être restreint et ne doit être appliqué qu'aux cas strictement prévus par le législateur.

D'après M. Blaevoet, il doit y avoir de nouveau enquête d'Utilité Publique et déclaration d'Utilité Publique quand l'enquête ancienne n'a pas porté sur les territoires qui vont être empruntés par les lignes d'énergie électrique et il se-

rait abusif d'invoquer ici la maxime « Accessorium sequitur principale. »

M. Blaevoet ajoute : « Dès que les lignes d'énergie à établir ne peuvent plus être regardées comme secondaires par rapport aux ouvrages déclarés d'Utilité Publique, dès qu'elles ont un tracé tout différent, qu'on ne pouvait prévoir lors de l'enquête relative à ces ouvrages, on n'est plus dans le domaine d'application de l'article 21 ».

Certains propriétaires, en effet, ne comprenaient pas le caractère particulier des lignes de transport d'énergie à haute tension et ils concevaient difficilement qu'une ligne puisse être immédiatement rattachée au chemin de fer et construite sans avoir été reconnue d'Utilité Publique, par simple application de l'art. 21.

La jurisprudence a reconnu à bon droit, au contraire, la nécessité des lignes de transport à haute tension pour l'électrification de la voie ferrée, nécessité qui sans aucun doute a inspiré l'art. 21.

Il est, en effet, techniquement impossible de produire directement dans les usines éloignées des points d'utilisation, le courant à basse tension qui doit alimenter les câbles de traction. L'énergie produite dans les usines doit être transportée en conséquence à une tension élevée jusqu'à des stations de transformation alimentant les lignes de prises de courant. Les lignes à haute tension, en définitive, tout en ne suivant pas toujours les emprises du chemin de fer, pour éviter la plupart du temps des perturbations au réseau de l'administration des P. T. T., constituent donc une dépendance certaine des chemins de fer.

M. Marranges (1) cite à l'appui de cette jurisprudence

(1) Marranges (thèse Paris 1929) : *Les transports d'énergie électrique et la propriété privée.*

l'art. 77 du décret du 11 novembre 1917 relatif à la police du chemin de fer et qui défend à toute personne de modifier, déplacer sans autorisation et de dégrader, déranger ou altérer pour quelque cause que ce soit, non seulement la voie ferrée, le talus, clôtures, barrières, bâtiments, ouvrages d'art, mais encore « les installations de production, de transport et de distribution d'énergie électrique ».

Le Conseil d'Etat a considéré que les lignes d'énergie électrique desservant les chemins de fer ou tramways sont au nombre de celles que régit la loi du 15 juin 1906.

D'après le Conseil d'Etat, l'art. 21 accordant aux concessionnaires de l'Etat des départements et des communes bénéficiant déjà d'une déclaration d'Utilité Publique, les droits prévus par l'art. 12, les dispense de solliciter toute nouvelle concession pour profiter des avantages en question.

Il faut, d'ailleurs, remarquer que cette possibilité n'empêche pas les compagnies de chemin de fer d'engager néanmoins la procédure de déclaration d'Utilité Publique du réseau d'énergie en question, soit pour assurer une autonomie, soit pour l'utiliser à d'autres fins que la seule exploitation de la voie ferrée. Si la compagnie de chemin de fer veut amener l'énergie électrique uniquement à ses ouvrages, et n'établit ses feeders qu'à cet effet, la déclaration d'Utilité Publique antérieure de ces ouvrages suffit pour lui procurer le bénéfice des servitudes légales. Mais, si elle veut, à l'aide de ces mêmes feeders, distribuer l'énergie ailleurs, il lui faut un titre spécial, une autre concession.

Dans ces conditions, une compagnie de tramways ou de chemins de fer qui veut vendre ou transiter de l'énergie doit posséder un titre spécial régi par la loi du 15 juin 1906.

Une autre objection a été soulevée à l'encontre des prétentions des compagnies de chemins de fer à user des pré-

rogatives qui leur étaient reconnues par l'art. 21. On a prétendu en effet que le concessionnaire ne pouvait disposer de ces prérogatives dans les cas où l'entreprise au profit de laquelle était installé le réseau d'énergie, avait obtenu sa reconnaissance d'Utilité Publique à une époque où l'électrification des voies ferrées était inconnue. On restreignait ainsi le domaine de la loi de 1906 aux lignes de transport destinées uniquement à l'électrification des voies ferrées nouvellement concédées.

Le Ministre, consulté sur ce point, a répondu que l'article 21 ne faisant aucune allusion à la date que devrait avoir la déclaration d'Utilité Publique de l'entreprise profitant de ces facilités et surtout des servitudes article 12, il y avait lieu d'étendre son application aux entreprises reconnues d'Utilité Publique quelle que soit la date de leur reconnaissance.

Loi du 19 Juillet 1922

En trente ans, les réseaux de distribution ont pris un développement qu'on ne pouvait prévoir en 1906.

Il est impossible de comparer les supports des lignes de cette époque, frêles poteaux télégraphiques, avec les pylones métalliques actuels des grandes lignes à hautes tensions.

L'utilisation de très hautes tensions nécessite l'emploi de supports très importants qui ont dix, quinze ou vingt mètres de hauteur et parfois une assise en ciment armé de plusieurs mètres de base. Le propriétaire du terrain ne se trouve-t-il pas en présence d'une véritable dépossession ? De même on peut se demander si, au point de vue de la sécurité, les dispositions de la loi de 1906 sont encore suffi-

santes en ce qui concerne le passage des conducteurs aériens au-dessus des propriétés privées ou à travers des agglomérations.

Il serait donc infiniment souhaitable que le Parlement améliorât la charte des entreprises de transport d'énergie, de façon à bien préciser les droits et les devoirs de chacun. Rien dans ce sens n'a été tenté ni dans la loi du 19 juillet 1922 ni dans la loi du 21 février 1925. Cette dernière loi n'a eu d'autre but que de limiter l'indépendance du concessionnaire et de la soumettre au contrôle de l'administration.

Au lendemain de la guerre, les pouvoirs publics comprirent que le développement de l'énergie électrique dans l'avenir serait une question de distribution à haute tension et l'administration des Travaux Publics a étudié un programme national d'organisation des réseaux et des usines ; c'est dans cet état d'esprit que fut votée la loi du 19 juillet 1922 qui prévoyait en effet la création d'un super-réseau d'Etat, utilisant au mieux les diverses sources d'énergie en connectant les principales centrales thermiques avec les grands réseaux des massifs montagneux à régime fluvial ou glaciaire. C'était pour nos chemins de fer une vue d'avenir extrêmement large. La loi du 19 juillet 1922 est une loi très courte incorporée dans les articles 3 *bis* et 18 de la loi de 1906.

Avant de terminer ce chapitre, rappelons le décret du 24 avril 1923, Règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 15 juin 1906 (et la loi de 1922) relatif aux concessionnaires de transport d'énergie à haute tension.

Ces concessions ont pour objet l'établissement et l'exploitation d'une ligne ou d'un réseau de lignes reliant les

usines productrices entre elles ou avec des sous-stations de transformation d'où partent des lignes de distribution, ou encore la réunion des sous-stations de distribution entre elles. Elles peuvent éventuellement comprendre la transformation, mais ne comportent en aucun cas la vente de cette énergie (art. 1^{er}).

Il suffit de lire le décret du 24 avril 1923 pour se rendre compte de la procédure qui permet à une Société de transport de force ou à une Compagnie de chemins de fer entreprenant l'électrification de son réseau ferré, d'obtenir la concession des travaux d'établissement de la ligne projetée.

En effet, aux termes de l'article 2 chapitre 1 de ce décret : « Toute demande tendant à obtenir la concession d'un transport d'énergie électrique à haute tension est adressée au Ministre des Travaux Publics. La demande est accompagnée d'un mémoire descriptif avec une carte du réseau à établir, indiquant l'importance de l'entreprise et sa destination, les conditions générales et les dispositions principales du transport. »

Etude technique de l'Electrification en France

INTRODUCTION

L'équipement électrique de la France était caractérisé en 1919 par un émiettement extrême des moyens de production. Sans doute, avait-on enregistré au cours des années précédant la guerre une certaine tendance à la concentration. Cette évolution avait déjà conduit à des réalisations intéressantes : quelques réseaux régionaux alimentés par des centrales puissantes, thermiques ou hydrauliques, comportant des tensions de transport élevées pour l'époque (jusqu'à 60 kv.) avaient été constituées ou se trouvaient en voie de l'être. Nous plaçant strictement au point de vue de la traction électrique, l'énergie avant la guerre était surtout procurée par les usines thermiques de distribution générale (ligne Paris-Invalides à Versailles et Paris-Juvisy).

La guerre enraya naturellement les efforts entrepris dans cette voie. Mais quel que fût l'intérêt technique de ces diverses réalisations, leur caractère sporadique et l'étendue relativement limitée des territoires desservis en atténuèrent singulièrement la partie effective. Aussi bien, la plupart des entreprises de traction, de même que les localités de moyenne importance, possédaient-elles encore leurs centrales indépendantes à faible rayon d'action et de rendement médiocre. A titre d'exemple de cet individualisme économique, nous

pourrions citer la Compagnie du Midi qui avait fait mettre en chantier deux usines hydrauliques dont le but unique était la traction : Soulom (Pierrefitte), Eget (vallée d'Arreau). Depuis les choses ont bien changé et partout, les producteurs d'énergie se sont raccordés au réseau général. Ils ont atteint des centres de consommation éloignés et par là même ont contribué au développement économique de la région envisagée.

Nous pourrions à nouveau prendre comme type de cet essor économique, la région du Sud-Ouest. Il n'est d'ailleurs pas douteux que son développement est dû pour une très large part à l'électrification de la Compagnie du Midi. Alors qu'avant la guerre cette région était peu ou pas industrielle, de nombreuses industries (cyanamide, zinc, azote, aluminium) sont venues s'y installer.

A l'heure actuelle, une quarantaine d'usines hydro-électriques appartenant à une douzaine de Sociétés différentes sont raccordées au réseau général. Malgré la crise, elles ont continué à produire plus d'un milliard de kilowatts-heure, dont la traction électrique consomme à peine 15 %.

Ainsi, nous le voyons, deux méthodes, deux politiques s'opposent :

1° Double système d'usines génératrices et de lignes de transmission d'énergie électrique, affectés, l'un à la clientèle industrielle, l'autre à la clientèle de traction. Ce type est adopté par l'Allemagne, la Suisse, l'Autriche, la Suède, la Norvège, pays à chemins de fer d'Etat, utilisant le courant monophasé.

2° Réseau unique, système adopté par la France, l'Angleterre, les U. S. A., dont les lignes électrifiées utilisent le courant continu.

L'unification des formes de courant a dominé toute l'étude de l'électrification des chemins de fer français en raison des garanties de sécurité et d'économie qu'elle doit procurer.

CHOIX DU COURANT

Le choix du type de courant, jadis influencé par des considérations d'ordre technique, ne se présente aujourd'hui que comme un problème à résoudre soit d'après des considérations purement économiques, soit d'après des considérations de convenances particulières. Ce choix ne peut être déterminé dans chaque cas d'espèce qu'en tenant compte de toutes les conditions du problème posé et en comparant l'ensemble des dépenses (frais d'exploitation et charges du capital).

L'électrification des chemins de fer n'a nécessité à son début que la construction de lignes de transport à tensions moyennes 45, 60, 90 kv. destinées à alimenter en énergie les sous-stations de traction. Par la suite, lorsque l'on a réalisé l'équipement des voies ferrées éloignées des centres producteurs, qui sont, pour la plupart, des usines hydrauliques, il a fallu recourir à des tensions plus élevées (150 et 220 kv.) pour alimenter dans des conditions satisfaisantes ces zones d'utilisation.

C'est ainsi que les Compagnies du Midi et du P. O. ont été conduites, les premières, à construire des lignes à 150 et 220 kv. dans le midi et le centre de la France.

Actuellement, le courant est amené aux sous-stations de transformation sous forme de courant alternatif triphasé à 50 périodes.

La caractéristique du courant triphasé à 50 périodes, forme adoptée pour la distribution industrielle, est de ne

pas spécialiser les usines et les lignes servant à l'alimentation des chemins de fer, et de permettre l'intégration de la traction électrique dans un programme d'ensemble d'électrification du territoire, programme dans lequel pouvaient ainsi rentrer toutes les utilisations possibles de l'énergie électrique (traction, distribution, électrochimie). Ce système qui nous paraît tout naturel l'était beaucoup moins à l'époque de son adoption qui s'est révélée si féconde et témoigne d'une rare perspicacité de la part de ses auteurs.

Notons que ce système va à l'encontre de ce qui s'est fait dans d'autres pays et notamment en Suisse.

Les pouvoirs publics avaient compris en effet que le développement de l'énergie électrique dans l'avenir serait une question de distribution à haute tension ; et l'administration des Travaux Publics a étudié un programme national d'organisation des réseaux et des usines. C'est dans cet état d'esprit que fut obtenue la loi du 19 juillet 1922 qui prévoyait la création d'un super-réseau d'Etat à haute tension et la fréquence standard de 50 périodes, permettant d'assurer la continuité de la distribution, quelles que soient les avaries et variations horaires ou saisonnières de la demande, et d'utiliser au mieux les diverses sources d'énergie, en connexion les principales centrales thermiques avec les grands réseaux des massifs montagneux à régime fluvial ou glaciaire.

C'était pour nos chemins de fer une vue d'avenir extrêmement large car leurs propres réseaux n'ont pas été oubliés dans l'étude de ce vaste plan d'organisation ; c'était pour eux la quasi certitude d'avoir à tout instant l'énergie suffisante pour satisfaire aux pointes.

Ce courant alternatif triphasé à haute tension est reçu dans des sous-stations et transformé en continu par des

commutatrices ou par des redresseurs à vapeur de mercure (les ingénieurs donnent maintenant la préférence à ces appareils qui, ne comportant aucune pièce mobile, exigent moins de surveillance et d'entretien).

Le continu est presque universellement adopté. Après les tâtonnements inévitables et une application assez étendue du monophasé, les chemins de fer français ont adopté la traction à courant continu qui n'a pas sur le télégraphe et le téléphone l'action perturbatrice de l'alternatif et conserve un rendement de transformation élevé. Le système triphasé qui avait été appliqué aussi à l'alimentation des feeders ne semble pas devoir faire l'objet de nouvelles applications en dehors des zones où il est déjà utilisé. La préférence des techniciens s'est portée sur le courant continu, depuis une quinzaine d'années, toutes les fois qu'il ne s'agissait pas d'étendre une électrification déjà entreprise suivant un autre système, ou d'électrifier des lignes étroitement reliées à d'autres déjà électrifiées suivant un système différent.

C'est à la suite d'une étude d'ensemble faite en 1931 par le Conseil Supérieur des Travaux Publics que fut prise la décision d'abandonner le monophasé. A la place on devait utiliser le courant continu produit dans une série de sous-stations échelonnées à des distances de 20 à 25 km. les unes des autres le long des voies ferrées électrifiées.

Les systèmes à courant continu peuvent, à leur tour, être subdivisés en système à basse tension (1.500 volts) et à haute tension (3.000 volts).

La tension de 1.500 volts ne doit pas être dépassée en cas d'utilisation d'un 3^e rail (ex. : Chambéry-Modane). Le conducteur aérien (caténaire) peut supporter des tensions plus hautes. Bien que, dans la généralité des cas, la tension

de 1.500 volts soit préconisée, on a décidé que l'on pourrait employer la tension de 3.000 volts sur certains points spéciaux où elle paraîtra plus avantageuse.

Les conducteurs sont donc alimentés actuellement par :

1. — Continu (basse tension — haute tension) ;
2. — Alternatif monophasé à basse fréquence.

CHOIX DES MOYENS DE PRODUCTION

Ainsi que nous l'avons vu, au moment de l'élaboration du programme d'électrification, il ne fut pas question d'imposer certaines obligations aux Compagnies au sujet de la production et du transport du courant.

On s'était contenté de désigner les lignes à électrifier et de fixer certains points particuliers afin d'obtenir un tout homogène. En dehors de cela, les Compagnies restaient libres, soit de produire et de transporter elles-mêmes l'énergie nécessaire à leur trafic, soit de se la procurer auprès d'autres sociétés.

Cette façon de procéder s'imposait, car nos trois réseaux visés au programme de 1920 et en outre le réseau de l'Etat, desservent des régions qui n'ont pas la même nature d'activité économique. La solution pour un réseau de produire à lui-même l'énergie dont il a besoin n'a rien d'ailleurs qui puisse surprendre : l'aménagement et l'exploitation d'une usine hydro-électrique n'ont rien de comparable à l'aménagement et l'exploitation d'une mine de charbon. Cette solution, qui était celle de la Compagnie du Midi, ne va pourtant pas sans dangers car elle implique, si le réseau veut produire la totalité de son énergie, la nécessité d'aménagements considérables, afin que la puissance disponible reste suffisante pendant les mois d'étiage et les années sèches. En outre, elle risque d'orienter le réseau vers un commerce auquel il n'est ni préparé ni destiné, car contraint à la construction d'usines dont la puissance normale excèdera ses

besoins, ce réseau cherchera des débouchés pour essayer de tirer profit des excédents d'énergie qu'il ne peut utiliser.

Toutefois, il ne faut pas exagérer l'importance de ce danger.

Il suffit d'un peu de prudence dans les contrats relatifs à ces ventes d'énergie et la Compagnie du Midi, qui faisait partie d'un important centre de distribution d'énergie, se contentait simplement de lui livrer ses disponibilités sans aucun engagement de sa part. Celle-ci vendait des excédents, encaissait des péages et, au total, l'opération s'équilibrait d'une manière satisfaisante.

D'ailleurs, ces contrats sont toujours soumis au visa de l'administration supérieure. Nous verrons que, depuis, le Midi a évolué et reçoit sa distribution d'une filiale.

Le P. L. M. a préféré la solution inverse qui consiste à acheter à quelques gros producteurs ou à des distributeurs d'énergie, la force dont il a besoin. En pratiquant cette méthode le P. L. M. se libère de l'aménagement des chutes et de leur exploitation. S'il a préféré cette solution, c'est qu'il était assuré de trouver sur place, auprès de l'industrie privée, les disponibilités d'énergie suffisantes à ses projets et qu'au surplus, s'étant tardivement rallié à l'idée d'électrification, il voulait, avant de poursuivre la réalisation de ce programme, procéder à des essais sur une partie très limitée de son réseau.

Ce réseau, qui parcourt un important centre industriel où existent déjà de nombreuses usines, tant hydrauliques que thermiques, est admirablement bien placé pour obtenir de l'industrie privée de l'énergie à bon compte.

Les Chemins de fer de l'Etat, eux aussi, ont adopté cette solution. Ils ne possèdent aucune usine et l'énergie leur est fournie :

a) En ce qui concerne les lignes de banlieue par l'Union d'Electricité (en particulier usines de Bezons et des Mouligneaux).

b) En ce qui concerne la ligne Paris - Le Mans, par l'Union d'Electricité et la Société Inter-Paris qui, en outre du courant fourni par les usines thermiques de la Région parisienne, reçoivent du courant des usines thermiques du Nord et des usines hydrauliques du Rhin (Kembs), du Massif Central (La Truyère) et des Pyrénées.

La conception des usines spécialisées et, en particulier, d'usines de chemins de fer est aujourd'hui désuète ; la Compagnie du Midi notamment a renoncé à cette conception. Elle a abandonné l'idée d'usines spécialisées pour l'électrification des trains transpyrénéens et elle a mis en commun avec l'Usine des Producteurs d'énergie des Pyrénées Occidentales, son usine d'Eget, celle de Soulom et celles de la Haute Vallée d'Ossau. Il convient d'abandonner l'idée des usines spécialisées si l'on désire utiliser avec le rendement optimum les ressources hydrauliques des cours d'eau.

C'est la véritable raison pour laquelle ces Compagnies de chemins de fer (P. O. et Midi) ont préféré se soumettre aux prescriptions de la loi du 16 octobre 1919 et renoncer à la faculté d'échapper à ses dispositions.

Compagnie d'Orléans

Le programme de 1920 comportait la mise en valeur progressive de toutes les chutes du Massif Central et la distribution, jusqu'à Paris, de l'énergie produite dans la région du centre.

L'énergie électrique nécessaire à l'alimentation des lignes que la Compagnie du P. O. a électrifiées tout d'abord, est fournie par deux groupes distincts :

1. — Pour la section de Paris à Châteauroux, par les centrales thermiques de l'Union d'électricité (Gennevilliers et Vitry) et par la centrale hydraulique de l'Union hydro-électrique à Eguzon (Creuse).

2. — Pour le reste, par les centrales hydro-électriques que la Compagnie d'Orléans a aménagées ou aménage dans le Massif Central ; celle de Coindre sur les deux Rhue, celle de la Cellette sur le Chavanon, celle de Marèges sur la Haute Dordogne. L'aménagement de l'usine d'Eguzon et son exploitation en parallèle avec les usines thermiques de la région parisienne, ont été étudiés de manière à ce que tout se passe comme si la centrale hydraulique constituait pour la supercentrale de Gennevilliers un groupe supplémentaire de 40.000 kilowatts.

Etant donné l'irrégularité du débit de la Creuse, il ne pouvait être question d'alimenter les installations de traction de l'Orléans avec la seule usine d'Eguzon. C'est pourquoi le P. O. et l'Union d'électricité ont fondé en commun la Société Union Hydro-Electrique en vue d'exploiter également en commun la centrale d'Eguzon et les centrales de la région parisienne.

La Compagnie du Midi fut la première Compagnie de chemins de fer qui utilisa la houille blanche pour la fourniture du courant nécessaire à ses lignes électrifiées.

Dans ce but, elle avait fait mettre en chantier l'usine de Soulom (sur les Gaves de Pau et de Cauterets) et celle d'Eget (1) (utilisant le débit de la Neste de Couplan régularisé par les réservoirs d'Oredon, d'Aubert, de Cap-de-Long et de l'Oule). Les travaux arrêtés en 1914 furent repris après la guerre et terminés en même temps qu'étaient mises en

(1) Cette usine commencée en 1913 ne fut terminée qu'en 1926.

service les usines de La Cassagne (sur le Têt, en aval de Mont-Louis, dont le débit est régularisé par le réservoir de Bouillouse) (1) et de Fontpédrouse (2).

Mais le Midi ne devait pas s'en tenir là. Ayant constaté les bons résultats de l'électrification sur les lignes déjà en service (3), d'autres lignes furent prévues pour lesquelles le courant était nécessaire. C'est alors que la Compagnie réalisa les installations hydro-électriques de la Haute Vallée d'Ossau. Cette œuvre offrait, à l'époque, l'exemple le plus complet existant en France et peut-être dans le monde entier, de l'aménagement intégral et rationnel d'une vallée. L'aménagement s'étend depuis la frontière d'Espagne jusqu'à l'entrée des célèbres gorges du Hourat.

Dans cette zone on a tiré tout le parti raisonnable, au point de vue économique, du Gave du Brousset et de ses affluents dont l'ensemble forme le Gave d'Ossau.

Trois usines en cascade, de puissance comparable et

- (1) Elle devait fournir le courant à la ligne de Villefranche à Bourg-Madame. Elle utilise 4 groupes de 800 kilowatts chacun fournissant du courant alternatif triphasé sous une tension de 20.000 volts.
- (2) Fontpédrouse a été établie pour l'essai du courant alternatif monophasé sur la ligne de Perpignan à Villefranche (deux groupes de 1.100 kilowatts chacun fournissent du courant monophasé sous une tension de 13.500 volts).
- (3) Rapport de l'Assemblée Générale : En ce qui concerne l'électrification, le président M. Tirard, s'applaudit de ses résultats actuels pour le Midi qui, à certains moments, avaient pu paraître incertains. « En effet, lorsque nous avons établi le programme d'électrification des grandes artères, nous avons tenu compte, pour apprécier l'économie réalisable, essentiellement du trafic transitant sur la ligne, puisque le coût d'installation est constant quel que soit le nombre des trains, en second lieu du prix du charbon, enfin, du coût des travaux. Les travaux une fois entamés ont dû être poursuivis puisque sans cela tous les capitaux engagés fussent restés improductifs. Aujourd'hui nous devons nous féliciter de l'électrification... »

dont l'emplacement a été soigneusement étudié de manière à répondre à cette préoccupation d'utilisation intégrale, mais raisonnable, de toute la puissance des cours d'eau rencontrés, ont été établies (1).

La Compagnie du Midi a projeté d'aménager la vallée de la Haute Ariège et la vallée supérieure de la Têt d'une manière semblable à celle de la vallée d'Ossau. Les résultats seront encore plus complets parce que la vallée de la Haute Ariège peut être régularisée à l'aide d'un lac plus important que celui d'Artouste. Si les principes techniques utilisés seront les mêmes que pour la vallée d'Ossau, les principes juridiques seront tout autres. Le nombre des usines sera également de trois, pour chaque vallée ; la dépense, notablement moindre en raison des facilités plus grandes de la région (1).

Il y a une dizaine d'années, la conception de la production du courant a complètement évolué : la Compagnie du Midi a renoncé à construire par elle-même, comme cela avait été fait pour la vallée d'Ossau. Elle a créé une filiale, la Société Hydro-Electrique du Midi (S. H. E. M.) dans laquelle le Ministre l'a autorisée à entrer.

L'article 3 des statuts de la S. H. E. M. a pour objet : « L'obtention de toutes concessions et autorisations de construction et d'exploitation d'usines hydro-électriques et de

(1) Ces usines sont celles :

- a) d'Artouste (3 groupes de 7.000 kilowatts - 60.000 volts).
- b) de Miégebat (5 groupes de 7.000 kilowatts - 60.000 volts).
- c) du Hourat (5 groupes de 7.000 kilowatts - 60.000 volts).

(2) Les usines prévues pour la Haute-Ariège sont celles de :

- a) l'Hospitalet,
- b) de Mérens,
- c) de Savignac.

Pour la haute vallée de la Têt : transformation des usines de la Cassagne et Fontpédrouse et construction des usines : 1) Plâ des Aveillans, 2) Fontpédrouse, 3) Olette.

réseaux de transport de force, la construction et l'exploitation d'usines thermiques ayant pour but de produire, transporter ou distribuer l'énergie électrique..., la fourniture et la vente à tous particuliers ou services publics, ainsi que l'utilisation par la Société elle-même, de l'énergie électrique provenant de toutes usines. »

Toutes ces usines desservant la Compagnie du Midi sont groupées et débitent sur le réseau général de l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales (U. P. E. P. O.) qui groupent un grand nombre d'usines et d'adhérents.

CHOIX DES MOYENS DE TRANSMISSION

On a vu à quelles différences de méthode ont abouti les Compagnies dans la fourniture du courant : l'une produit elle-même, l'autre préfère en acheter ; une troisième prendra une position intermédiaire.

De pareilles différences de méthode peuvent se retrouver dans le transport du courant. Elles aussi s'expliquent par diverses considérations d'opportunité et suivant l'importance relative que les Compagnies attachent à chacune d'elles. Les lignes de transmission servant à fournir l'énergie aux chemins de fer peuvent être affectées uniquement aux besoins de la traction ou utilisées en commun avec une entreprise industrielle de fourniture de courant.

Chacun de ces deux systèmes a ses avantages particuliers, mais il convient de remarquer que la raison pour laquelle on a recours à la transmission en commun est que l'on cherche à faire une économie de premier établissement plutôt qu'à réduire les pertes de transmission.

On peut dire que l'usage exclusif des lignes de transmission par les chemins de fer se recommande lorsque le chemin de fer est en même temps propriétaire des usines génératrices dont la production est entièrement absorbée par le réseau ferré, ainsi que sur les lignes à courant alternatif où l'énergie est produite sous forme de monophasé.

Lorsque le réseau électrique s'étend sur une grande région, dans laquelle existe aussi une importante distribution industrielle, les avantages des centrales communes sont con-

sidérables et un système de transmission en commun est alors adopté normalement. Les petits réseaux électrifiés achètent presque toujours leur énergie et le choix de leur système de transmission est toujours dicté par les circonstances locales (1).

Toutefois, il semble que les réseaux préfèrent assumer les charges de ce transport ou tout au moins en partie. C'est ainsi que l'énergie nécessaire à la ligne Culoz-Modane est apportée par les soins de la Société d'Electrochimie, d'Electrometallurgie et des Aciéries électriques d'Ugine jusqu'au poste de Ventou (près d'Albertville). De là le P. L. M. assure ce transport jusqu'au poste de Saint-Pierre-d'Albigny. Deux lignes à haute tension se dirigent alors l'une vers Culoz, l'autre vers Modane et alimentent les sous-stations placées sur leur parcours : d'une part, celle située à Saint-Pierre-d'Albigny même, puis celles de Chambéry, Aix-les-Bains, Culoz et d'autre part : Epurre, Saint-Jean-de-Maurienne, Saint-Michel et Le Praz. Par contre, on avait prévu pour les lignes de la région de Nice que la force motrice serait livrée directement par la Société d'Energie Electrique du Littoral Méditerranéen. Le Réseau de l'Etat a adopté une solution semblable pour l'électrification de sa ligne Paris-Le Mans : le courant continu nécessaire au fonctionnement de la ligne est fourni au Réseau de l'Etat en trois points distincts :

Elancourt (près de Trappes) branché sur le réseau à 60.000 volts de la région parisienne où convergent de toutes

(1) Nous pourrions noter à ce sujet une question qui joue un grand rôle dans le choix des moyens de transmission : à savoir que lorsqu'un réseau est alimenté à partir de plus d'un point, les pertes de transmission peuvent être réduites au minimum par la répartition rationnelle de la charge et de l'énergie réactive entre les points d'alimentation, de manière à ce que chaque partie du réseau supporte sa part de charge totale.

les régions de France, les transports d'énergie thermique ou hydraulique.

Luisant (près de Chartres), Arnage (près du Mans) reçoivent le courant à 90.000 volts provenant du Massif Central et des Pyrénées.

Une ligne double à 60.000 volts relie les sous-stations comprises entre Chartres et Versailles ; une autre ligne, également double à 90.000 volts relie les sous-stations comprises entre Chartres et Le Mans. Les deux premières sous-stations au départ de Paris sont alimentées par le réseau à 15.000 volts de la banlieue électrifiée des gares Saint-Lazare et Invalides, celles de Chartres et du Mans reçoivent leur énergie par des câbles à 30.000 volts en raison des difficultés de passage des lignes aériennes à haute tension dans les agglomérations importantes.

Les sous-stations sont en moyenne à 17 km. 800 les unes des autres.

En sens inverse le Midi qui a ses usines a aussi ses lignes de transport.

Pour les besoins de son électrification, le Midi a été amené à construire un vaste réseau de lignes de 150.000 volts (lignes de Lannemezan à Pau et à Bordeaux, de Lannemezan à Toulouse et à Millau) et de lignes de 60.000 volts, suivant ses lignes électrifiées.

Conformément au programme de l'administration, il a conçu ce réseau de manière à pouvoir servir, non seulement au transport de l'énergie destinée à sa traction ou des disponibilités supplémentaires de ses usines, mais aussi au transport de l'énergie provenant des autres usines des Pyrénées et de la partie sud du Massif Central.

Quant au P. O., il assure le transport de son énergie jusqu'aux sous-stations de ses lignes : deux lignes entre

Marèges et Paris, l'une à 150.000 volts, l'autre à 220.000 volts, et deux autres lignes à 90.000 volts entre Eguzon et Paris ; en février 1935 : création de deux lignes à 90.000 volts, Eguzon-Limoges et Limoges-Brive-Marèges.

Les lignes à 150.000 et 220.000 volts servent spécialement au transport de l'énergie à grande distance, tandis que les autres lignes sont chargées de distribuer cette énergie aux sous-stations de transformation.

RÉGIME DE L'INTER-CONNEXION

Il est bien certain que l'électricité laisse peser sur celui qui veut l'utiliser, la menace d'une interruption de courant et par conséquent, d'une interruption de service. Cette menace ne saurait, moins que partout ailleurs, être tolérée dans le fonctionnement des réseaux de chemins de fer.

Les Compagnies l'ont compris, mais à quel prix ! Rappelons-nous les cas des réseaux contraints à des aménagements d'usines hydrauliques extrêmement puissantes afin que restât suffisante, pendant les mois d'étiage, la force disponible. Or, il serait intéressant que nos chemins de fer puissent dans l'avenir se prêter un éventuel appui.

Au début de l'électrification, l'idée était qu'à chaque ligne électrifiée il fallait une usine génératrice de courant, d'où une dépense considérable. Aussi les Compagnies se sont-elles orientées vers des constructions de groupes d'usines alimentant indistinctement les lignes de tout le réseau.

C'est dans cet ordre d'idée que le Midi entreprit la construction des usines d'Ossau qui utilisent rationnellement, grâce à leur position en échelon, toute la richesse hydraulique de la région. En même temps, la Compagnie du Midi prenait l'initiative, qui s'est révélée d'ailleurs extrêmement féconde, de construire un réseau de transports pour relier ses différentes centrales hydrauliques et distribuer leur énergie aux sous-stations. Mais on s'est bien vite aperçu que ce réseau pouvait très heureusement jouer le même rôle pour le compte des tiers, et, en fait, il transporte

aujourd'hui, sous l'autorité d'un organisme spécialisé, beaucoup plus d'énergie pour le compte de sociétés tierces que pour la Compagnie du Midi elle-même (1).

On peut ainsi distinguer deux systèmes :

a) Désormais les usines au lieu d'être isolées et sans secours sont groupées et fonctionnent en parallèle. Certains dispositifs sont prévus pour que, si une avarie venait à se produire à l'une, les autres n'en soient pas affectées.

b) Il peut y avoir en outre une liaison plus complète entre les usines (type de la vallée d'Ossau) où les usines sont non seulement échelonnées, mais encore conjuguées entre elles ; elles sont réunies directement les unes aux autres puis, indirectement, au poste élévateur du Hourat auquel elles aboutissent toutes trois (Artouste, Miegébat, Hourat) par deux lignes de transport d'énergie à 60.000 volts.

De cette façon, la sécurité de l'exploitation se trouve assurée. Remarquons qu'elle peut l'être tout aussi bien par la présence d'une usine thermique. C'est ainsi que le P. O. a relié ses usines de la Haute Dordogne et celle d'Eguzon à la puissante centrale de Gennevilliers. Ces usines seront également reliées aux usines hydrauliques des Alpes.

Cette collaboration des usines thermiques et des usines hydrauliques peut se faire localement ou par le moyen de lignes de transport.

C'est ainsi que les bassins houillers du Midi de la France alimentent des usines thermiques qui complètent heureusement le moyen de production hydraulique. Il est

(1) Nous avons vu d'ailleurs que l'idée maîtresse qui avait présidé à l'élaboration de la loi de 1922 était l'idée de création d'un super-réseau. Cette même idée avait dirigé le choix que l'on avait fait d'un courant type standard. Dans tous les domaines, nous assistons à une disparition de l'individualisme.

même arrivé, dans un cas particulier, que l'installation d'une usine hydraulique ait eu pour conséquence la réouverture d'une mine de charbon abandonnée pour alimenter l'usine thermique de secours.

Cette collaboration, au lieu d'être locale, peut également se faire à distance : tel est le cas de l'Etat et nous l'avons vu, le cas des chemins de fer du P. O. qui sont alimentés les uns par le courant hydraulique du Massif Central, les autres par le Massif Central et les Pyrénées, mais dont la marche peut être assurée le cas échéant en tout ou en partie par les usines de la région parisienne, lesquelles sont reliées au Massif Central (par une quadruple artère à haute tension), au Rhin (barrage de Kembs) et aux usines du Nord.

Lorsque plusieurs grands réseaux sont ainsi interconnectés, on est amené à établir un organe de commandement dit *dispatching*, qui donne des ordres aux différentes usines de façon à répartir la charge pour que l'exploitation soit assurée d'une façon sûre et économique (1).

(1) Dans la région parisienne, l'Union d'Electricité assure l'alimentation des réseaux de la banlieue parisienne des chemins de fer de l'Etat, du P. O., du Métropolitain et de la S. T. C. R. P.

L'énergie est fournie par les centrales thermiques de Gennevilliers (360.000 kw.), Vitry-Nord (80.000), Nanterre (20.000), Issy-les-Moulineaux (20.000), Vitry-Sud (500.000).

Il s'y ajoute l'appoint des usines de Saint-Ouen, Romainville et Issy et des centrales hydro d'Eguzon et de Coindre.

Des accords passés avec la Société pour le transport de l'énergie électrique du Massif Central permettent de recevoir à Paris, par des lignes de 220.000 volts, d'importantes fournitures d'énergie électrique produites par des centrales hydro-électriques, notamment la Truyère.

L'interconnexion des usines thermiques de la région parisienne et des centrales hydro-électriques du Massif Central est réalisée dans un important poste de couplage situé à Villejuif.

RÉALISATION AU SEIN DES COMPAGNIES

Après avoir étudié les méthodes employées par les Compagnies pour se procurer le courant nécessaire à la traction, nous allons passer rapidement en revue les différentes réalisations faites par les Compagnies en ce qui concerne l'électrification.

Le courant produit par les usines de la Compagnie ou acheté à des producteurs indépendants arrive à des stations (nous avons vu que pour une ligne telle que Paris-Le Mans, il y en a trois, sans compter celle de départ), qui le répartissent en quelque sorte entre les sous-stations ; ces sous-stations se trouvent, en moyenne, tous les 20 km. et sont constituées par des convertisseurs rotatifs ou des convertisseurs à vapeur de mercure.

Parmi les appareils employés dans la pratique, la valve à vapeur de mercure (ou convertisseur à vapeur de mercure) constitue la plus précieuse innovation de ces dernières années, au double point de vue économique et technique. Sous sa forme initiale (redresseur) elle ne pouvait être employée que pour la conversion du courant alternatif en courant continu, mais la mise au point de la grille polarisée lui a frayé la voie pour prendre la place d'un type quelconque de convertisseur rotatif ; aussi, la possibilité d'économies considérables peut désormais être envisagée avec les systèmes à courant alternatif aussi bien qu'avec ceux à courant continu.

Le courant qui est produit en triphasé à 50 périodes est transformé soit en continu à 1.500 volts, soit en continu à

3.000 volts. Le courant est transmis à des feeders qui longent la voie et alimentent eux-mêmes soit les caténaires, soit un troisième rail.

Le troisième rail a l'avantage de rendre plus économique les opérations de pose et d'installation en raison de sa simplicité. Sa surveillance et son entretien sont très faciles. On lui reproche par contre de ne pouvoir subir des voltages supérieurs à 1.500 volts et de ne pouvoir servir pour des lignes de grandes vitesses où il serait d'une résistance insuffisante et d'une usure très rapide. On doit noter d'ailleurs que l'accroissement constant de la vitesse pose continuellement le problème de la résistance des troisièmes rails et des caténaires. Ces derniers bénéficient des avantages et subissent les critiques inverses.

En ce qui concerne leur installation, ils sont d'une pose très délicate et doivent être l'objet d'une surveillance constante. Toute détérioration pouvant provoquer des atteintes graves à la sécurité (1).

Nous avons vu qu'à tous les stades de la production et de la transmission de l'énergie, on s'efforçait de réduire au minimum les pertes d'énergie, afin de faire rendre à l'électricité son maximum ; il faut analyser les pertes qui peuvent se produire dans les différents éléments constitutifs de ce système de traction.

On se rend surtout compte que de très grandes économies ne peuvent pas être réalisées par des perfectionnements de l'équipement électrique, et qu'il n'y a lieu de les attendre que de la méthode directe, consistant à réduire l'énergie

(1) A la sous-commission technique de 1920, il fut entendu que les locomotives seraient équipées pour circuler aussi bien sur des lignes à troisième rail que sur des lignes à caténaires.

consommée par les trains en adoptant des véhicules d'une construction rationnelle et très légère et, dans la plupart des cas, en utilisant le freinage par récupération, afin de récupérer l'énergie qui est actuellement dissipée avec les systèmes des freins mécaniques.

Les locomotives en service dans les réseaux sont d'un type à peu près identique. Elles dérivent des modèles en service sur la Compagnie du Midi :

Après la guerre, cette Compagnie avait adopté la locomotive du type Bo Bo pour ses express (1.600 - 1.800 CV) ; des modèles plus rapides ayant été mis en service (2C2-2D2 (à bielles) 2 Do 2 (à engrenages) d'une force de 3.600 à 4.400 CV), la locomotive Bo Bo fut employée à remorquer les trains de marchandises ou les express de nuit.

(1) Le P. L. M., sur la section Modane-Chambéry, emploie une locomotive d'un type légèrement différent (2-6-2 AE).

LES RÉSEAUX ÉLECTRIFIÉS

Les Compagnies qui ont adopté l'électricité pour tout ou partie de leurs lignes sont au nombre de trois : P. O.-Midi, Etat, P. L. M.

La Compagnie du P. O.-Midi (1)

Ce réseau possède la plus grande longueur de lignes électrifiées : 648 kilomètres pour le P. O. et 1.863 kilomètres pour le Midi sur un total de 11.724 kilomètres de lignes.

Le P. O. avait adopté l'électrification lors de la mise en service de la gare d'Orsay (1900). Pour la portion souterraine Austerlitz-Orsay, on ne pouvait songer à la traction à vapeur en raison des inconvénients, nous pourrions dire des impossibilités, que ce mode de traction comportait (2). Le P. O. en cela, ne faisait que copier l'exemple donné par le Métropolitain (1898).

En 1904, la Compagnie du P. O. étendait ses lignes électriques jusqu'à Juvisy (22 kilomètres). Cette Compagnie s'en tint là pendant quinze ans.

Le Midi, de son côté, et pour d'autres raisons (rampes très fortes), commença à électrifier avant la guerre (ligne de Villefranche à Bourg-Madame).

Actuellement les principales lignes électrifiées sont :

(1) Ces deux Compagnies que, jusqu'ici, nous avons étudiées séparément, ont été fusionnées en un seul réseau (loi du 8 juillet 1933).

(2) Difficulté d'évacuation de la fumée et de la vapeur.

a) Paris-Irun dont la section Tours-Bordeaux est en achèvement.

b) Paris-Brive ; la section Vierzon-Brive de cette ligne a été mise en service au printemps 1935. C'était la première fois qu'une section aussi longue était mise d'un seul coup en service (1).

c) *Montauban-Toulouse* (Béziers — Canfranc).

Lorsque la partie Brive-Montauban sera achevée, nous posséderons deux lignes électrifiées reliant Paris à la frontière espagnole.

d) *Sète-Neussargue*.

e) Les raccordements : *Dax-Laruns-Toulouse*.

A ces lignes, de nombreux branchements ont été établis (voir la carte).

Le P. O.-Midi s'occupe actuellement de l'électrification de la ligne Massy-Palaiseau-Saint-Rémi-les-Chevreuses qui fera suite à la ligne Paris à Sceaux-Robinson et Massy-Palaiseau terminée, en liaison avec la Compagnie du Métropolitain et pour le compte du département de la Seine. Quand les moyens financiers le permettront, on mettra en chantier la ligne Tours-Le Croisic.

Si nous nous reportons au rapport présenté à l'assemblée générale des actionnaires du 19 mai 1937 (2), nous apprenons que le trafic assuré par la traction électrique s'est encore accru en 1936 ; il atteint 30,20 % du nombre des encore accru en 1936 ; il est de 30,20 % du nombre des remorqués, pour le P. O. et de 63,32 % et 69,20 % pour le Midi.

(1) Cette section ainsi que la section Orléans-Tours sont alimentées par l'usine de Marèges dont les turbines commencent à tourner en octobre 1935.

(2) Compagnie Paris-Orléans.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Etat

Les Chemins de fer de l'Etat viennent au second rang des réseaux électrifiés avec 211 kilomètres de grandes lignes et de très nombreuses lignes de banlieue.

Ce fut le premier réseau qui songea à l'électrification : Invalides-Versailles (1900), 20 kilomètres. Cet essai très encourageant poussa la Compagnie à établir d'autres projets qui ne se réalisèrent qu'après la guerre.

En 1924, nous assistons à la mise en service de la ligne Saint-Lazare - Bois-Colombes - Bécon-les-Bruyères, suivie par d'autres :

Saint-Lazare - Versailles,
Saint-Lazare - Saint-Germain,
Saint-Lazare - Marly et Saint-Nom-la-Bretèche.

Le 5 janvier 1936, les rames électriques assuraient le service Saint-Lazare - Argenteuil.

Cette électrification limitée marquait un sérieux progrès dans le débit de ces lignes surchargées, assurant par là même une œuvre d'urbanisme qui rapprochait les villes de la banlieue, du centre de la capitale.

La Compagnie de l'Etat, loin de tout centre d'énergie hydraulique, devait attendre que les transports à haute tension aient atteint le développement actuel pour électrifier ses grandes lignes.

C'est à la suite d'une demande du gouvernement, que le réseau de l'Etat présenta le 31 août 1934 un projet d'électrification sur Paris-Le Mans au titre du plan Marquet.

La prévision des dépenses se montait à 476 millions, chiffre ramené le 7 novembre à 408 millions.

Le projet approuvé en octobre, la première pierre était

posée le 3 novembre 1934 et le 22 mai 1937, le premier convoi électrique circulait entre Paris et Le Mans.

Ces travaux formaient un ensemble d'innovations concernant tant la distribution du courant que la signalisation et la sécurité (1).

La signalisation mécanique, périmée, est remplacée par le block automatique à signaux lumineux, quant à la distribution elle est assurée d'une manière continue en quelle que section que ce soit :

Le courant transformé dans les bâtiments mêmes des sous-stations de traction est distribué à 3.000 volts par deux feeders qui courent le long des voies. Si un transformateur est avarié, un autre s'y substitue automatiquement et instantanément ; si un feeder devient mauvais, l'autre est raccordé de même aux transformateurs d'alimentation ; si le courant primaire vient à manquer, le groupe électrogène à Diesel de la sous-station démarre et au bout de quelques secondes fournit le courant à 3.000 volts au feeder. Cette disposition perfectionnée est la première du genre.

La Compagnie P. L. M.

Cette Compagnie ne compte que 184 kilomètres de voie normale électrifiée (Culoz-Modane dont la section Chambéry-Modane est seule en service) et 30 kilomètres de voie de un mètre (Saint-Gervais - Vallorcine) pour un total de 9.949 kilomètres.

Nous avons vu que des projets avaient été établis concernant les lignes à gros trafic (Lyon - Marseille et Côte d'Azur) et quelques embranchements secondaires. Mais cette électrification, à laquelle le Ministère de la Guerre n'est

(1) Voir *infra* page

guère favorable, ne semble pas devoir être prochaine. Reportons-nous au rapport de M. A. Lebon (1) : celui-ci, après avoir évité toute comparaison avec les autres réseaux « qui sont seuls juges de ce qu'ils ont à faire » affirme qu'il est « convaincu qu'aux prix actuels où sont les travaux, l'électrification, s'il n'y avait pas d'autres raisons de s'y opposer sur le réseau P. L. M., serait une mauvaise affaire au point de vue financier ».

Cependant, la Compagnie reconnaît la nécessité d'améliorer le rendement et le débit des grandes lignes (en particulier Paris-Marseille-Nice). Sur ce long trajet, la moyenne commerciale des rapides est de 78 kilomètres-heure que la traction à vapeur ne peut guère augmenter pour les raisons suivantes :

- 1) profil en long accidenté,
- 2) huit gares d'arrêt général,
obligation de ralentir en 19 points du parcours,
- 3) tonnage des trains.

La Compagnie qui utilisait des tracteurs Diesel, pour la remorque au dépôt des rames vides, procède actuellement à des essais de traction par locomoteurs Diesel rapides (4.000 CV).

Pour les réseaux du Nord et d'Alsace-Lorraine, de même que pour les grandes lignes du réseau de l'Est, on n'a jamais songé à l'électrification pour des raisons de défense nationale. La Compagnie de l'Est qui avait entrepris l'électrification de sa proche banlieue a complètement arrêté les travaux.

(1) Assemblée générale des actionnaires 23 avril 1937.

CONCLUSION

Un fait certain se détache de ce problème complexe : l'électrification présente au point de vue technique des avantages indéniables et montre une supériorité incontestable sur la traction à vapeur.

Reste le problème économique, la mise en présence des intérêts à satisfaire et les capitaux à engager. Il est un principe que nous pouvons poser : à savoir qu'il est matériellement impossible d'étudier le problème au point de vue des solutions d'ensemble. Il importe d'étudier séparément les lignes ou tronçons dont l'électrification est envisagée. Il faut renoncer à des illusions chimériques que la presse a trop souvent fait naître. L'électrification d'un grand nombre de lignes ou d'embranchements qui transportent un petit tonnage à des intervalles éloignés, serait un acte de folie.

Cette opinion a été l'opinion de celui que l'on peut considérer comme le véritable fondateur de la traction électrique. « ... Personne n'a foi plus que moi en son avenir. Mais cet avenir ne consiste pas dans la destruction en bloc des grands systèmes existants... elle remplacera la locomotive à vapeur sur maintes lignes suburbaines et d'intérêt local, elle accaparera la plupart des tramways ou métropolitains... elle sera un auxiliaire utile des grandes lignes, mais n'a pas sonné le glas de la locomotive à vapeur » (1).

(1) Sprague : *Engineering Magazine* 1895.

A l'heure présente, les caisses sont vides : les projets restent dans les tiroirs ; dans aucun budget des dépenses d'électrification nouvelle ne sont prévues. A peine achève-t-on les travaux commencés. Ce n'est pas que l'on méconnaisse les avantages très certains de l'électricité et les inconvénients de la traction à vapeur, cependant le déficit des réseaux empêche de signer des traites sur l'avenir en se livrant à des travaux considérables.

Nous avons même vu des réseaux tenter des essais de traction nouvelle (Diesel) sur les lignes où la traction électrique avait été projetée.

Quel rôle jouera plus tard l'électricité ?

La parole est aux financiers.

BIBLIOGRAPHIE

- HAURIOU. — Précis de Droit administratif (Sirey).
- BERTHÉLÉMY. — Traité élémentaire de Droit administratif (Rousseau et Cie).
- COLSON. — Législation des Chemins de fer et Tramways (Sirey).
- A. MESTRE. — Jurisprudence de la Houille Blanche (Sirey, 1929).
- A. MESTRE. — Propriétaires et Compagnies de distribution d'énergie électrique (1925).
- CH. BLAEVOET. — Des atteintes à la propriété à raison des Travaux Publics (Giard, 1930).
- ULRICH et MAROGER. — La production et la distribution de l'énergie électrique.
- LHULLIER. — Législation des Forces Hydrauliques (Sirey).
- R. TOCHON. — Les chutes d'eau. Etude économique et financière (Alcan, 1933).
- LABAUME et VALLA. — Législation de l'Electricité (1937).
- LEMONON. — Le Régime légal des distributions d'électricité (1907).
- J. SIGNOREL. — L'Electrification des grandes lignes de Chemins de fer (1914).
- J. H. ADAM. — Les industries électriques (1927).
- PARODI. — L'Electrification partielle de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans (Dunod, 1928).

- GODFERNAUX. — Aperçu de l'évolution des Chemins de fer français de 1879 à 1928 (Dunod, 1928).
- BOILEAU. — Production et Vente de l'énergie électrique (Paris, Tequi 1923).
- THÉVENEZ et D'HÉROUVILLE. — Législation des Chemins de fer (1930).
- BACHELLERY. — L'Électrification du réseau de la Compagnie des Chemins de fer du Midi et ses résultats techniques et économiques.
- A. MESTRE. — Les problèmes juridiques de l'Electricité (Revue Politique et Parlementaire 1925, t. 123).
- ALLIX. — Electrification des Chemins de fer français (Revue Politique et Parlementaire 1927, t. 130).
- Le Sud-Ouest Economique* (1928). — La Houille Blanche.

THÈSES

- GALLAND (Thèse Paris, 1930). — Des Usines Hydro-Electriques alimentant des entreprises déclarées d'Utilité Publique.
- MARRANGES (Thèse Paris, 1929). — Les Transports d'énergie électrique et la propriété privée.
- PRATVEL (Thèse Toulouse, 1932). — Les grands Réseaux de Chemins de fer français.
- FERRAND (Thèse Paris, 1934). — La mise en valeur du domaine hydro-électrique français.
- RÉVÉRAND (Thèse Paris, 1931). — Les Chemins de fer français d'intérêt général depuis la fin de la Guerre.

DOCUMENTS

- L'Électrification des réseaux de Chemins de fer d'intérêt général (Conseil Supérieur des Chemins de fer, 1920).

- Les Forces Motrices de la Truyère.
 - Conseil National Economique (La Situation des principales branches de l'Economie nationale).
 - Archives des Ponts et Chaussées.
 - Documents publiés à l'occasion du Congrès International de 1937 (31 mai - 11 juin 1937).
 - La ligne Paris-Le Mans (1937).
 - La Traction nouvelle (1937).
 - L'Electrification de la ligne Vierzon à Brive.
 - L'Electrification de la ligne d'Orléans à Tours.
-

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
— Introduction	5
— Historique	11
— L'Électrification au point de vue économique, social et financier	15
Introduction	15
1. Le Problème du Charbon	17
2. Les Usines d'Énergie électrique	21
a) Types d'Usines	21
b) La Houille Blanche	24
Etude Géographique	24
Régime Hydrographique	25
Aménagement rationnel d'une usine	27
3. Économie relative des différents modes de traction	29
4. Autres avantages de l'Électrification	34
5. L'Électrification devant la Crise	40
6. Le Programme de 1920	42
7. Nouveau Plan	46
8. Considérations générales économiques	49
— Les Questions juridiques posées par l'Électrification	51
Introduction	51
1. Régime de la Production d'Énergie	52
Usines Thermiques	52
Usines Hydrauliques	53

a) Régime antérieur à la loi de 1919	54
b) Loi de 1919	56
2. Régime des Transports d'Énergie	65
a) Régime antérieur à la loi de 1906	65
b) Loi de 1906	65
c) Loi de 1922	71
— Etude technique de l'Électrification en France	74
1. Introduction	74
2. Choix du Courant	77
3. Choix des Moyens de Production	81
4. Choix des Moyens de Transmission	88
5. Régime de l'Interconnexion	92
6. Réalisation au sein des Compagnies	95
7. Les Réseaux Électrifiés	98
— Conclusion	103



IMPRIMERIE LES PRESSES MODERNES

(Atelier et Direction)

96, Galerie Beaujolais - Palais Royal — PARIS (1^{er})