

val-heure, suivant la puissance absorbée et le coefficient d'utilisation.

Le tableau de distribution comprend tous les appareils de manœuvre et de mesure, généralement en usage. De ce tableau partent deux circuits alternatifs qui se dirigent sur Gênes par des chemins différents, et se rejoignent à Rivarolo, dans la vallée du Polcevera, à 12 kms. de la station génératrice.

Le premier de ces circuits est à la tension de 25 000 volts, et va directement de l'usine génératrice à la sous-station de Rivarolo. Il est constitué par 3 fils de 5 mm de diamètre. Au départ, le courant à 5500 volts des alternateurs traverse 4 transformateurs triphasés, élévateurs de tension (dont un de réserve). Ces transformateurs, de 600 kws chacun, sont à bain d'huile avec circulation d'eau. Ils sont disposés au rez-de-chaussée, sur le bord du bâtiment qui regarde l'aval, du côté opposé au rocher et aux conduites sous pression dont ils sont séparés par le canal de fuite. Des ouvertures spéciales permettent au pont roulant de la salle des machines de les soulever en cas de réparations. A l'arrivée, des transformateurs réducteurs monophasés, groupés par trois, et d'une puissance de 200 kws, abaissent la tension à 5500 volts.

Le second circuit utilise directement le courant à 5500 volts des alternateurs. Il est constitué par 3 fils de cuivre, de 65 mm<sup>2</sup> de section, supportés par les mêmes poteaux que ceux du transport à courant continu. Ce second circuit dessert la région comprise entre Isoverde et Rivarolo, où il se soude avec le premier circuit. Sur tout le parcours, des transformateurs abaissent la tension suivant la demande des consommateurs.

De la sous-station de Rivarolo, partent 3 lignes à 5500 volts. La première va directement à Gênes par Salita della Pietra et la porte Angeli; une seconde va à Sampierdarena en suivant le Polcevera, la troisième se dirige sur Sestri Ponente en passant par Borzoli.

La fabrique de jute d'Isoverde est maintenant actionnée par des moteurs électriques branchés sur le circuit triphasé à 5500 volts.

Au point de vue électrique, il se dégage de cette étude que le courant alternatif apparaît comme plus avantageux que le courant continu série, lorsqu'il s'agit de distribuer l'énergie en un grand nombre de points, puisque la Société de l'Aqueduc De Ferrari-Galliera, ayant à donner plus d'extension à son réseau de distribution électrique, n'a pas hésité à donner la préférence au courant alternatif qui se prête avec la plus grande facilité au morcellement de l'énergie ainsi qu'à la transformation du voltage. Il semble donc que le courant continu série doive être réservé au transport en bloc de l'énergie, d'une station génératrice à une station réceptrice, comme c'était bien le cas pour le transport d'énergie de Moutiers à Lyon.

Au point de vue économique, l'installation précédente est un exemple remarquable de l'utilisation intensive de l'eau, dont on a d'abord employé sous forme d'énergie mécanique la plus grande partie de l'énergie potentielle qu'elle avait acquise en tombant sur les parties hautes de l'Apennin, pour la faire servir ensuite à l'alimentation de toute une grande ville. *Hygiène et énergie*, telle est la devise dont se sont inspirés les promoteurs de l'Aqueduc De Ferrari-Galliera pour le plus grand profit de leurs compatriotes.

H. BELLET.

## ÉLABORATION DES SOURCES

par les Montagnes et les Forêts

Au milieu du siècle dernier, des inondations désastreuses posèrent en France, plus impérieusement qu'il ne l'avait encore été, le problème de la « lutte contre l'eau ». La reconstitution des anciennes forêts montagneuses, à la source de nos rivières torrentielles, se présenta comme l'unique solution à poursuivre. En fait, le reboisement est resté, sinon le seul, du moins le principal facteur du problème.

Pendant longtemps, la résistance matérielle que la végétation oppose à la force vive des pluies ruisselantes, le feuillage hygrosopique superficiel qu'elle développe, expliquaient suffisamment la stabilité du sol boisé, l'emmagasinement des eaux qu'il reçoit; il semblait en outre que la domestication de ces eaux exigeât le reboisement intégral des versants montagneux. Ces conceptions d'inertie et d'imbibition s'exagèrent dans certains esprits trop absolus. On craignit que la pléthore des reboisements en montagne n'engendrât des inondations en plaine; on pensa qu'il devait exister une limite à la capacité en eau du sol boisé et qu'il y avait danger à dépasser cette limite. « L'éponge » sursaturée par le fait humain, pouvait déclencher de nouveaux déluges! On chercha des expressions mathématiques de cet enchaînement de faits (J. Clavé)

Avant d'être conquis par la végétation, le sol, inerte par lui-même, s'étale indéfiniment sous l'action des eaux élaboratrices de la terre végétale: dans les régions désertiques, il « s'ensevelit sous ses propres débris » (A. de Lapparent). Mais partout où accèdent les pluies en quantité suffisante (200 mm. environ par an), elles sèment et utilisent des germes aériens, prodrômes de la végétation pérenne, élaborateurs eux aussi de résistance organique, de vie végétale. La végétation devient, avec le temps, le correctif spontané de l'érosion. La lutte mécanique de la terre et de l'eau n'a partout qu'une durée limitée, au bout de laquelle la terre « armée » est stabilisée et conquise par les plantes. Les eaux atmosphériques seront superficiellement emmagasinées en vue de leur utilisation par l'action souple et progressive de la végétation: le surplus alimentera les sources et les résurgences lointaines.

C'est ce double facteur physiologique et géographique qu'on négligea trop longtemps d'introduire dans la mise en équation du problème complexe des inondations des plaines et du reboisement des montagnes: lui seul peut en donner la clé.

La forêt n'est en rien une machine, mais un merveilleux organisme soumis à des lois d'évolution qui échappent aux calculs trop précis.

Il n'existe aucune limite à la capacité en eau « d'une terre qui reste couverte de bois, de mousses et de gazons » (E. Imbeaux); pas plus qu'il n'y a de formule rigoureuse, déterminant le « taux de boisement » susceptible d'assurer, en un point, la régularité du régime des eaux montagneuses; qu'il n'est permis de concevoir le suicide d'une forêt par surproduction d'eaux superficielles. La naissance ou la persistance d'érosions en montagne, la fréquence ou la soudaineté des crues torrentielles en plaine ou dans les vallées, sont les seuls criteriums de l'insuffisance de l'armature du sol, à l'origine des eaux fluviales.

Au point de vue physique, la masse aérienne des plantes et surtout des grands arbres, fonctionne comme écran condensateur; elle provoque, dans une certaine mesure, le phé-

nomène des pluies soit par son relief propre sur le sol, soit par l'atmosphère humide qu'elle entretient au-dessus d'elle. Elle atténue la force vive des chutes; garantit le sol arrosé de l'évaporation, de la lixiviation; immobilise les neiges; substitue le régime de l'infiltration lente à celui du ruissellement superficiel, de l'enfouissement. Elle restitue à l'atmosphère, rapidement et par évaporation directe, la plus grande partie des eaux qu'elle a reçues (\*). Elle soustrait des végétaux microbiens, délicats, aux extrêmes de l'intempérisme et à l'oxydation de la pleine lumière.

Au point de vue chimique, les dépouilles périodiques, aériennes et souterraines des arbres, approvisionnent superficiellement la matière hydro-carbonée, génératrice de l'humus hygroscopique et en grande partie de la vie végétale.

Au point de vue physiologique, l'appareil foliacé des plantes fixe le carbone et, dans une certaine mesure l'azote de l'air; il restitue à l'atmosphère par transpiration la plus grande partie des eaux qui ont élaboré dans les tissus les matières minérales assimilées; enfin il assure une fonction vitale essentielle, la respiration.

A la surface immédiate du sol abrité, surtout par la forêt, végète une population cryptogamique d'algues qui participent aux vies microbienne ou chlorophyllienne, peuvent capter, soit l'azote de l'air, comme certaines bactéries, soit le carbone atmosphérique comme la masse des végétaux aérobies.

Dans le sol même, prolifie tout un monde microbien, client de l'aristocratie aérienne. C'est à ces prolétaires infimes, en même temps qu'aux agents chimiques d'oxydation, qu'il appartient de « digérer » les dépouilles végétales accumulées superficiellement, de les minéraliser, de les transformer en « humus » assimilable par les végétaux supérieurs, qui les ont fournis et qui, dans la suite, s'en alimenteront. Ces transformations sont facilitées par le « travail » de la faune souterraine, lombrics et invertébrés qui peuplent le sol abrité, y vivent, le fouillent, le labourent, l'aèrent, y assurent une permanente circulation de l'air et des eaux (\*).

Tous ces organismes vivent étroitement solidaires, groupés en « associations naturelles », pour ainsi dire *syndiqués* en vue de la plus grande utilisation des eaux superficielles: l'un aidant l'autre pour s'assurer autant que possible la protection d'un puissant écran ligneux, pour conquérir la terre à la stabilité, à la vie.

Les manifestations de cette vie seront éclatantes dans la forêt haute et dense qui couvre surtout les premiers ressauts montagneux où les vents marins dépouillent leur plus grande charge de vapeurs. Par contre, dans les zones alpines, step-pales, « l'armature » rasée, nanifiée et clairsemée, multipliera ses organes souterrains, réduira son appareil aérien

(\*) Sous les climats de l'Europe centrale, on estime que les forêts évaporent directement ou transpirent physiologiquement les 4/5 de la pluie tombée. Le pouvoir asséchant des forêts qui épuisent les nappes phréatiques superficielles immobiles dans le sol, est très observé aujourd'hui dans les plaines. En montagne, l'observation, beaucoup plus délicate, est pour ainsi dire impossible vu la multiplicité des contingences hydro et phyto-géologiques; toutefois, l'absence complète d'érosion naissante et par conséquent de ruissellement superficiel sur des sols montagneux couverts de forêts ou de pelouses alpines, traduit manifestement l'influence physiologique de l'armature végétale.

(\*) Notons sans insister que c'est à ce *struggle* vital permanent que les sols boisés doivent la salubrité bien reconnue et si exploitée aujourd'hui de leurs eaux.

pour mieux puiser et moins évaporer les eaux souterraines. Dans les zones sèches, nivales, arctiques ou sahariennes, cette couverture spontanée se réduit à une avant-garde de plantes rustiques, lancées en éclaireurs sporadiques pour *créer du sol*, pour cramponner la vie à la matière inerte: toutes les formes végétales s'y organisent en vue de la lutte pour l'eau, par de longs sommeils, des reprises de vie aérienne soudaines, répétées, au gré des vents pluvieux.

Du sommet à la base des montagnes, comme du Spitzberg au Sahara, la végétation spontanée distribue ainsi sur le sol trois grandes énergies naturelles qui y gisent étroitement associées et solidaires: l'eau, le carbone et l'azote. Aussi a-t-on pu dire avec raison « qu'arracher un arbre, c'est dégrader l'énergie » (B. Brunhes).

Pour exploiter ces gisements, l'industrie agricole commence par dissocier l'association qui les a constitués. Elle dénude systématiquement les terres riches en plaine, afin d'y installer des cultures « vivrières », monotypes, très sélectionnées et fréquemment dépayées; sur les terres pauvres des montagnes, le feu et le troupeau sont les instruments traditionnels de culture. Il est inutile d'insister sur la désharmonie violente que le mal dit « nécessaire » de ces cultures apporte à la vie du sol. Ce dernier, fatalement déshumecté, dénitrifié et décalcifié par sa désarmature, redevient la matière inerte qu'il était autrefois; il se reprend à lutter contre l'eau qui le fuit en l'étalant à nouveau.

En fait, les cultures des pays de l'Europe occidentale, soumises au régime irrégulier des vents océaniques, des pluies de reliefs et automnales, sont perpétuellement à court d'eau ou n'en ont pas au moment opportun (P.-P. Déhéraïn). En France, les grands travaux d'irrigation sont absolument entravés par l'accroissement de la torrencialité de nos rivières, ou par l'enfouissement des eaux superficielles inutilisées et contaminatrices des sources appauvries. Aussi, la science du « travail du sol » par les façons et artifices culturaux, et surtout par les « cultures dérobées », par les irrigations, a-t-elle pour principal objectif d'emmagasiner superficiellement les eaux atmosphériques, de s'opposer à leur enfouissement rapide, d'approvisionner à l'aide des eaux fluviales les zones superficielles du sol où s'alimentent les végétaux cultivés. *Le sol dénudé lutte contre l'eau, le sol armé par la végétation lutte pour l'eau.*

Les faits actuels de cette double lutte sont légion; ceux que traduisent accidentellement les inondations de plaine (\*) en sont des manifestations complexes, lointaines et violentes; pour en bien saisir l'enchaînement, il faut remonter aussi haut que possible à la source des eaux torrentielles.

Le 18 juillet 1904 au soir, à la suite d'un violent orage qui s'était déchaîné sur le mont Jouvot (2 600 m.), le paisible ruisseau du Bon-Rieux, subitement grossi, dévastait en quelques minutes le joli bourg de Bozel-en-Tarentaise (Savoie). Onze victimes (une d'elles n'avait pas encore été retrouvée au moment de ma visite, le 15 août 1904), la

(\*) La France est certainement le pays qui solde les dîmes torrentielles les plus effrayantes. De 1846 à 1875, les dommages causés aux propriétés particulières par les inondations ont été évalués à 414 560 000 fr., ceux causés aux digues, ponts et autres propriétés publiques se sont montés à 71 710 000 fr., soit au total 486 270 000 fr. en 60 ans. C'est par centaines qu'on compte les victimes faites pendant la même période dans nos bassins torrentiels. L'exportation nitrique annuelle de nos rivières, qui drainent une grande partie de l'azote des fumures automnales, était évaluée à 75 millions de francs en 1903.

moitié du village, ou rasée ou noyée sous des laves compactes et des blocages monstrueux, des routes et ponts coupés, tel fut le bilan de cet instant de fureur du torrent, ci-devant ruisseau, source d'activité, de travail et de houille blanche. L'examen attentif de son bassin de réception était très instructif. En amont d'une zone forestière traversée par le canal d'écoulement du Bon-Rieux, et où le boisement protégé par le Régime forestier protège à son tour immédiatement l'agglomération de Bozel, la culture agricole a commencé la dénudation, en étagant des terrasses aujourd'hui converties en herbages. De nombreux arbres isolés, tilleuls, frênes, érables, épicéas, sureaux, en partie exploités comme feuillards, sont les restes de l'ancienne association forestière protectrice du sol ; ce dernier a de loin, l'aspect d'un verger. Plus haut, dans la zone subalpine, une forêt d'épicéas couvre la partie gauche du bassin. Elle est d'abord très dense, dans la limite de protection que lui assure le Régime forestier ; au delà, le massif, abandonné à la libre jouissance des habitants, n'a plus de forêt que le nom, c'est une épave, un lambeau de boisement, pantelant et raviné, où l'érosion des gypses et cargneules du sous-sol entaille de profonds et blancs ulcères. Leurs ramifications ultimes remontent bien haut sillonner l'alp. Sur le flanc droit du bassin, des restes de taillis d'aunes verts et de génévriers, dont le feutrage constituerait une cuirasse végétale à toute épreuve pour le sol, sont exploités et incendiés avec acharnement par les bergers. Malgré la chasse formidable du 18 juillet, beaucoup de ravins sont encore, à leur origine, gorgés de matériaux meubles, réserves disposées pour la prochaine mobilisation torrentielles. Il eût fallu pouvoir expliquer aux sinistrés cette leçon de choses (\*), qui n'est pas spéciale aux régions de haute montagne.

On ne saurait citer des faits plus démonstratifs du dérèglement des eaux consécutif à la mise en culture du sol, que ceux très étudiés aujourd'hui dans la grande plaine russe.

En 1861, un ukase libérateur affranchit le serf et allotit à son « mir » (commune), sous un régime spécial, des terres prises dans les steppes du tchernoziom. Cette riche proie culturelle était abritée sous un manteau herbacé qui avait mis de 2 à 6 mille ans (Ruprecht) pour y accumuler un humus estimé alors inépuisable. Il serait probablement resté tel pendant de longs siècles encore, si le fait violent de la désarmature du sol par la culture n'avait profondément modifié le régime des eaux superficielles. Sur un sol plan, relativement filtrant, où les précipitations atmosphériques se font surtout sous forme de neiges, l'érosion du sol s'est subitement manifestée avec des proportions saisissantes (A. Wœikof) ; les sables volants provenant d'une terre loessoides, alluvionnent aujourd'hui des millions d'hectares autrefois cultivés, ils menacent les agglomérations ; les cours d'eau s'assèchent, le sol se stérilise. La disette ligneuse est telle dans ces plaines glacées par les vents polaires, que le moujik chauffe ses poeles avec la paille des récoltes. A 50 kilomètres de part et d'autre du Transcaspien, ses constructeurs ont brûlé les moindres touffes de « saxaouls » (E. Blanc) fixatrices des sables ; aussi cherche-t-on aujourd'hui

(\*) Tout récemment, dans cette étonnante Savoie où, au dire des Montagnards, « les torrents font la richesse des vallées », une catastrophe torrentielle vient de dévaster les environs de Modane, non loin d'un périmètre de reboisement à l'Etat (E. Ballif : *Le Torrent*, in *Le Figaro* du 3 août 1906). C'est vraisemblablement une nouvelle leçon de choses fort instructive à ajouter à celle de Bozel. Sera-ce la dernière ?

d'hui à arrêter par des travaux de correction et des reboisements la progression des ravins et de l'ensablement. Il n'est pas douteux que le dépècement projeté des terres russes, sans aucune réserve pour les boisements existants, n'ouvre une ère nouvelle de dévastation du sol,

Dans le Far-West, la vie intense et sauvage du pionnier nomade déchaîna au siècle dernier la « lutte pour et contre l'eau » sous « l'inondation vivante » du troupeau ; elle a pris des proportions désastreuses avec la fabrication de la *pâte à papier* qui dévore déjà les forêts canadiennes. Aussi, les plaies torrentielles se dessinent-elles comme frappées à l'emporte-pièces au milieu de clairières forestières rapidement dévastées et bien vite abandonnées. Le président Roosevelt s'est énergiquement élevé contre ce pillage organisé du sol, réclamant une « action fédérale » pour y mettre fin : chaque Etat s'est attaché à faire la part du feu... et du mouton, dans ses régions montagneuses.

On sait combien est ardente la réaction organisée, en Espagne, par les Ingénieurs de Montagne, contre la dénudation des sierras restées si longtemps la proie du mérinos. La faillite des barrages-réservoirs, atterris ou rompus, dans ce pays de la « Politique hydraulique », les inondations désastreuses et périodiques, la propagande des Fêtes de l'Arbre, ont facilité les grands travaux de restauration du sol montagneux aux « têtes d'eau », des canaux d'irrigation qui alimentent les riches vegas et huertas du littoral méditerranéen.

Il serait facile de suivre, chez tous les peuples civilisés, le mouvement qui s'organise aujourd'hui, moins pour se défendre des inondations accidentelles, qu'en vue de l'utilisation permanente et progressive des eaux, de l'exploitation des gisements de houille blanche.

Après la doctrine de Liebig sur la nutrition minérale des plantes, une série de révélations culturelles se fit jour par l'étude des matières organique du sol, de son « humus ». Le génie de Pasteur élargit dans la suite l'horizon sur « le rôle gigantesque des infiniments petits » (L. Grandeau), principaux élaborateurs de cet humus. « Le règne des engrais azotés finit, celui des bactéries commence » disait P.-P. Déhérain, sans se douter que, peu après, d'illustres bactériologistes et hydrauliciens réussiraient à domestiquer le travail des nitro-bactéries, à capter par la houille blanche l'azote de l'air, à créer ainsi une profusion de richesses nouvelle, qu'on entrevit un moment comme susceptibles de « révolutionner l'économie du monde » (Hellriegel et Willfarth).

En réalité, cette révolution ne saurait être réalisée que si géologues, physiciens et météorologistes réussissent à trouver dans les montagnes de nouveaux rochers d'Horeb, où les agriculteurs pourront aller puiser à *volonté* l'eau, cet élément vital par excellence que Michelet appelait de la « vie commencée ».

La *question des montagnes* élaboratrices des sources, se dégage ainsi avec sa vraie valeur économique à l'aurore du « siècle de l'eau » (Schwob). Tel le cerf-volant, guidé par Franklin, allait chercher la foudre dans les nuages, telle la montagne puisera dans leur sein l'énergie, la fertilité, la vie pour les distribuer au loin, si en protégeant la parure spontanée de ses pelouses et de ses forêts, la culture sait développer et domestiquer les gisements de houille blanche.

L.-A. FABRE.

Inspecteur des Eaux et Forêts.