Remarques. — En général, la transmission des moteurs aux essieux se fait par engrenages. Ce système est très avantageux, car il rend indépendantes les vitesses angulaires de ces deux engins, et permet, tout en adoptant pour un type de moteur déterminé la vitesse de rotation la plus avantageuse, de faire varier la vitesse de l'essieu dans des limites assez étendues, suivant les applications envisagées.

Mais, pour les locomotives à grande puissance et à grande vitesse, il y a intérêt à supprimer les organes réducteurs de vitesse. Ainsi, si l'on considère une locomotive faisant 100 kms à l'heure, et ayant des roues de 1^m10 à 1^m35, celles-ci tourneront à raison de 4 à 500 tour par minute, ce qui convient d'une manière parfaite à des moteurs de 3 à 500 HP. En pratique, la suppression des organes réducteurs de vitesse devient logique toutes les fois qu'il s'agit de moteurs de plus de 250 HP, et de vitesses de marche supérieures à 80 kms à l'heure.

Le poids non suspendu, reposant sur l'essieu moteur, doit rester limité au dessous de la valeur à partir de laquelle les effets d'inertie auraient une influence fâcheuse sur la bonne conservation des voies. On est donc conduit à rejeter les combinaisons d'accouplement direct, pour lesquelles le poids entier du moteur est porté par l'essieu. Cette dispo-

même circonférence, et décalés de 60°. Ce dispositif a l'avantage de faire démarrer la moteur avant le train, de sorte que, au moment du départ, la force contre-électromotrice a déjà une certaine valeur, ce qui diminue les surcharges brusques dans les stations.

M. Mazen, étudiant la locomotive du *New-York Central*, montre que ce type ne paraît pas avantageux. Les entrefers devant rester constamment égaux, si l'on ne veut pas s'exposer à des attractions inégales de pôles, les quatre essieux doivent toujours rester rigoureusement parallèles. D'autre part, lorsque le courant est lancé dans les moteurs, les induits sont plongés dans un champ magnétique dont l'action a pour effet de s'opposer aux déplacements verticaux. Il en résulte une certaine raideur des organes de roulement, ce qui permettrait peut-être d'expliquer le récent déraillement survenu dans une courbe de la banlieue de New-York.

M. de Traz fait remarquer qu'il importe de ne pas trop réduire le nombre des combinaisons au démarrage. Les accélérations adoptées sont, en effet, de plus en plus fortes. Or, ce n'est pas la valeur élevée de l'accélération qui peut incommoder le voyageur, c'est la variation brusque de cette accélération qui se produit à chaque passage d'une combinaison à la suivante.

Fig. 16. — Truck rigide des voitures de la ligne de Malakoff.

sition, essayée sur les locomotives du *Central London*, a eu un insuccès complet, pour des motifs d'ordre purement mécanique.

On a ainsi été conduit à l'accouplement direct sur un arbre creux, concentrique à l'essieu et accouplé élastiquement avec lui, notamment sur les locomotives Heilmann, sur celles du *Baltimore and Ohio*, du *New-York, New-Haven and Hartford*, de la ligne Paris-Versailles, sur les locomotives d'essai de Zossen.

Dans d'autres combinaisons, le rotor est directement calé sur l'essieu lui-même, dont il fait partie intégrante, le stator étant fixé au châssis et possédant, par rapport à l'essieu, une suspension élastique. Tels sont les dispositifs employés sur le *New-York Central*, et celui imaginé par M. Auvert.

Les moteurs des locomotives électriques de la ligne de Paris à Versailles sont montés sur des tubes concentriques à l'essieu. Le diamètre maximum du corps de l'essieu est 170 mm. le jeu entre le corps et le tube est de 50 mm. A la vitesse maxima de 100 kms à l'heure, et avec des roues de 1^m31, la vitesse tangentielle dans les coussinets est de 6^m70 à la seconde, malgré cela, le système donne d'excellents résultats. La liaison de l'essieu au tube creux se fait au moyen de six ressorts à boudins réunissant entre eux trois points du plateau et trois points de la roue, placés sur une

LA HOUILLE BLANCHE ET LA QUESTION SYLVO-PASTORALE

Conférence faite aux élèves de l'Institut Electrotechnique de Grenoble, par notre collaborateur, le Commandant AUDEBRAND, sous les auspices de la Société pour le développement de l'Enseignement technique près l'Université de Grenoble.

MESSIEURS,

C'est par application du dernier paragraphe de l'art. 4 de ses statuts que la Société pour le développement de l'enseignement technique, qui patronne votre Institut, m'a demandé de venir aujourd'hui vous entretenir des questions sylvo-pastorales dans leurs rapports avec l'hydraulique.

C'est là, en effet, une question d'une très haute actualité sur laquelle les ingénieurs doivent être édifiés, et à laquelle ils doivent apporter une attention soutenue.

Cependant ce ne sont pas là matières d'examen, en ce sens qu'elles ne sont pas exigées pour l'obtention du diplôme dont vous poursuivez la possession, et, de ce point de vue étroit et restreint, vous pourriez peut-être vous croire autorisés à vous désintéresser de leur étude. Ce serait à tort : il ne faut pas songer uniquement à l'examen de fin d'études, mais encore à cet examen bien autrement complexe et redoutable qu'est la vie. Si vos maîtres ont le devoir de vous conduire à l'obtention du diplôme d'ingénieur, ils ont aussi le devoir non moins impérieux de vous armer

pour plus tard, pour que vous apportiez votre collaboration aux « progrès des applications de la science à l'industrie et à l'agriculture ».

Et, puisque je suis en train de développer devant vous les raisons qui rendent cette étude opportune, il me faut utiliser une actualité toute chaude et qui vous importe.

L'Association des anciens élèves de votre Institut publie périodiquement un bulletin dans lequel il est fort intéressant pour les spectateurs sympathiques à votre œuvre, dont je suis, de suivre le développement de vos idées. Le 7^e bulletin, qui vient de m'être apporté ces jours-ci, contient sous le titre de « bloc-notes d'un Ancien », des réflexions fort intéressantes et fort bien présentées dont il y a lieu de faire état ici.

L'auteur, *Cosinus*, dont je ne pénètre pas du reste la véritable personnalité, montre que les réseaux électriques se développent à l'envi sur notre sol et que les plaines sont à leur tour sillonnées de feeders qui ne se contentent plus désormais de ramper le long des vallées alpines. Il n'y a même plus guère que les plaines du Nord-Ouest et de l'Ouest à conquérir.

Après avoir expliqué les raisons qu'il croit avoir de préférer l'usine-vapeur dans les plaines et partout où le transport électrique atteint ou dépasse une portée de 200 km, il conclut en disant, dans un parallèle entre la houille blanche et la houille noire :

« Ne soyons donc pas trop enthousiastes de la houille « blanche et laissons à chacun son domaine ; aux vallées « alpestres et aux usines électro-métallurgistes la chute « d'eau, et aux grandes villes et régions de plaines, « où le charbon arrive sans frais par eau, l'usine vapeur « moderne à grosses unités turbo-dynamos ».

Cosinus, en écrivant ces lignes, a-t-il pensé au projet Mahl-Harlé-Blondel de transporter à Paris l'énergie prise à Bellegarde sur le Rhône, et qui a occupé l'attention du Conseil municipal parisien au début de ce printemps ? On pourrait le croire et certes, s'il entend ainsi nous mettre en garde contre la séduction des projets à envergure colossale en nous faisant toucher du doigt quelques-unes de leurs imperfections organiques, il n'y a pas lieu de lui marchander l'éloge. Mais il ne faudrait pas dépasser sa pensée et c'est surtout à ses lecteurs qui, faute de réflexion suffisante viendraient à croire à un recul relatif de la houille blanche, que je viens signaler l'écueil des solutions trop absolues.

Il y a d'abord beaucoup de réserves à faire quant au prix de revient des transports de charbon de la mine à l'usine : tous ne se font pas par eau, loin de là, et c'est un gros problème économique ; de plus les turbines à vapeur sont de très gros mangeurs de calories. Toutefois l'usine-vapeur règne dans les plaines qui sont à plus de 200 km du pied de chacun de nos massifs montagneux, je veux bien l'admettre, encore que ce règne ne soit pas sans conteste, car de nombreuses usines hydrauliques à basse chute et à gros débit pourront encore gagner honorablement leur vie en s'installant sur les cours d'eau qui sillonnent les plaines. Mais, jetez les yeux sur une carte de France et mesurez la surface couverte par ces plaines : elle est tout au plus le quart de la superficie totale de notre pays ! Le pays accidenté, domaine naturel de l'usine hydro-électrique en est les trois-quarts, car si de telles usines sont d'une installation très économique sous de très hautes chutes (rares d'ailleurs) il n'est pas nécessaire d'avoir des reliefs bien hauts pour créer des usines hydrauliques très efficaces.

Sans méconnaître la souplesse admirable de l'usine-vapeur, ni son économie relative dans certains cas, qu'il nous soit donc permis, ici, de revendiquer hautement les qualités de l'usine hydro-électrique et de faire remarquer qu'elle peut être dans notre pays reproduite à un nombre d'exemplaires considérable.

Cosinus nous dit, et c'est très vrai, qu'en raison même des progrès de la machine à vapeur, la règle s'accuse de

plus en plus de doubler l'usine hydraulique par une usine à vapeur et même de commencer les aménagements par l'installation de celle-ci. C'est très exact, mais il faut voir la cause de ce fait dans la question d'ordre social, administratif, commercial, plus que dans une infériorité technique. Souvent parce qu'il faut aller relativement vite on fait autrement que si on avait plus de loisir.

C'est souvent parce que l'usine hydraulique ne permet pas de passer aisément les pointes du diagramme des fournitures qu'on appelle la chaudière à la recousse de la turbine et, comme il faut avant tout satisfaire aux engagements qu'on a pris, on a bien raison. Mais pourquoi est-on contraint à cette solution mixte ? Parce que jamais ou presque jamais, les variations du débit du cours d'eau ne correspondent aux variations de la demande d'énergie, on a trop d'eau aux époques de faible demande, on n'en a pas assez quand la fourniture devient urgente et, *plus le cours d'eau est torrentiel et irrégulier, plus cette situation est angoissante par sa fréquence et son acuité*. Les travaux de retenue étant onéreux, et parfois inefficaces, il en résulte qu'il est beaucoup plus expéditif de libérer les calories d'un combustible à titre de cheval de renfort.

Mais si le cours d'eau était régularisé, dans nombre de cas la puissance hydraulique serait suffisante et au-delà pour faire face aux besoins. Or, cette solution ne doit pas nous laisser indifférents. Nous avons besoin de notre houille sur notre flotte et nous avons besoin d'une flotte nombreuse, dix fois nombreuse comme celle que nous avons tant au combat qu'au commerce. Nous avons besoin de notre houille encore dans mille endroits où nous ne savons pas encore utiliser la puissance de nos cours d'eau transportée par l'électricité, chemins de fer, usines urbaines, mines, etc. Soyons-en donc ménagers et améliorons notre domaine hydraulique par tous les moyens en notre pouvoir pour substituer l'eau au charbon partout où ce sera possible. Jusqu'ici nous avons gaspillé l'eau et le charbon. Il faut nous pardonner, nous ne savions pas ce que nous faisons ; mais désormais, mieux avertis, comprenons notre devoir et ayons la fermeté de l'accomplir.

Les considérations que je vais rapidement, et aussi sommairement que possible, développer devant vous devront donc être considérées comme une préface, une introduction, à des études personnelles qu'il vous faudra aborder plus tard au même titre que l'électricité et la chimie.

M. Routin vous a entretenus de l'utilisation mécanique de l'eau : il vous a montré comment vous en pouviez asservir le travail. Mais pour employer l'eau il faut, passez-moi cette naïveté, en avoir et en avoir en quantité aussi constante que possible à tout instant. C'est un idéal aussi simple à formuler qu'à concevoir. Sa réalisation est hérissée de difficultés ainsi que j'espère vous le montrer.

D'une manière sommaire et générale un cours d'eau quel qu'il soit est l'appareil collecteur des eaux tombées sur le sol de ce qu'on appelle son bassin. Dans le bassin de tout cours d'eau, petit ou grand, nous devons distinguer le *cirque d'admission*, le *goulet* et le *cône de déjections*.

Pour les grands cours d'eau le cirque d'admission peut être formé par la juxtaposition des bassins de cours d'eau moins importants, ses affluents.

Le goulet du cours d'eau est en général d'autant plus court que la pente générale du bassin est plus roide et le cours d'eau géographiquement moins important.

Le cône de déjections a ses arêtes d'autant plus inclinées sur l'horizon que la pente générale du bassin est plus roide et que l'eau se déverse dans un autre plus rapide. Les cônes de déjections se transforment en deltas, et donnent naissance à des lagunes et à des marais lorsque les eaux qui les forment, en y charriant les matières détritiques du bassin supérieur, viennent affluer dans des lacs ou dans la mer.

Le charriage des matériaux détritiques arrachés par l'eau

aux parois du cirque d'admission, ainsi qu'au thalweg du cours d'eau et de ses affluents, est le résultat de l'usure sur le sol de l'énergie potentielle contenue dans la masse de l'eau, prise successivement aux différents niveaux qu'elle franchit dans sa chute vers l'Océan depuis le moment où elle touche le sol.

Ce travail est, pour l'industriel exploitant la houille blanche une perte d'énergie, une résistance passive et il est économiquement incité à réduire cette perte de la même manière que dans ses machines, turbines ou dynamos, il est incité à diminuer les frottements, les remous, les girations, les hystérésis, les courants magnétiques et électriques vagabonds, etc., et que dans son exploitation financière il doit éviter les faux frais.

Ce charriage, qui est d'autant plus considérable que le sol sur lequel se développe le cours d'eau est de constitution géologique plus friable, est non seulement une perte d'énergie, mais encore une cause d'usure du mécanisme hydraulique dont les organes de distribution peuvent, vous le savez, être très promptement mis hors de service par des eaux chargées de limons et même de graviers comme cela se rencontre si fréquemment dans les cours d'eau de montagne. Pour le garantir contre cet inconvénient il faut organiser à grands frais ce qu'on appelle des bassins de décantation dont je n'ai pas à vous faire ici la description ni la théorie, mais que je dois vous signaler en vous disant qu'ils ne donnent les sûretés que l'industriel est en droit d'exiger d'eux qu'au prix d'un entretien et d'une surveillance attentive assujettissants et onéreux.

Ce n'est pas seulement la machinerie hydraulique qui souffre du charriage. Le barrage, cet organe stable indispensable à toute usine hydraulique sous une forme ou sous l'autre, voit peu à peu sa retenue comblée par tous les apports solides de l'amont et la capacité de la retenue réduite d'autant.

Enfin, vienne une crue inopinée, à la suite d'une pluie d'orage par exemple, des matériaux sont arrachés en abondance au sol soumis au ruissellement; l'eau, selon l'expression de Scipion Gras se sature de ces matériaux; et c'est alors une masse de mortier, une lave comme on dit en Savoie, qui vient submerger le pays en aval, enlisant usines, maisons, villages, routes, chemins de fer, rivières. C'est Bozel, c'est Auris-en-Oisans, c'est Grézy-sur-Isère, c'est Fourneaux, c'est le Bourg-d'Oisans, c'est la Grande-Vaudaine barrant la Romanche et créant pour un siècle un lac qu'une débâcle analogue précipitera plus tard sur Grenoble, et le mettant en savon...

Assurément les choses ne vont pas aussi tragiquement chaque fois qu'il pleut et s'il y a de nombreuses et longues périodes de sécheresse pendant lesquelles le sol perd toutes les réserves d'eau qu'il peut contenir, il y a aussi des pluies favorables et d'autres bénignes.

Si l'usine est en aval d'un lac traversé par le cours d'eau, elle est dans une situation heureuse : les gros abats d'eau qui descendent de l'affluent supérieur sont emmagasinés dans le lac dont ils élèvent plus ou moins le niveau pour quelques instants en raison de la surface du lac et du volume de l'apport. Vienne ensuite la sécheresse et cette masse, mise en quelque sorte en réserve, s'écoulera avec sagesse contribuant ainsi à régulariser le débit dans les artifices de l'usine.

Les lacs naturels sont rares dans certaines contrées et il est tout indiqué de suppléer la nature là où elle n'en a pas fait, en barrant les cours d'eau par de grands barrages de retenue, comme par exemple celui d'Avignonet près d'ici.

Mais ces barrages sont chers et ne sont pas toujours de tout repos, on en a vu se rompre et occasionner ainsi des désastres. On est limité dans la hauteur des retenues par les convenances des riverains d'amont et la nature des terrains à submerger, enfin la question des fondations pour asseoir un tel ouvrage est des plus délicates. Aussi conçoit-on aisément que leur nombre soit relativement faible.

Dans certains sols il existe des cavernes naturelles et on peut en pratiquer d'artificielles qui constituent des réservoirs dont le rôle est comparable à celui des lacs naturels ou artificiels. C'est ainsi que dans le Limousin il paraît que 1/5 de la pluie annuelle serait emmagasinée dans des réservoirs naturels souterrains. Or, si de tels résultats ont pu être constatés dans un sol granitique, on peut espérer en enregistrer de plus favorables encore dans les terrains jurassiques, où, comme vous le savez, les cavernes et les cours d'eau souterrains sont plus abondants que dans tous autres. Mais avec cette solution naît aussi un inconvénient venant de la crainte qu'on peut éprouver de voir un cours d'eau se perdre au loin par suite de son envoi inconsidéré dans un système de cavernes incomplètement sondé.

Quoi qu'il en soit la question de la régularisation des débits des cours d'eaux par le moyen de lacs souterrains artificiels a pu être sérieusement envisagée et il se pourrait que quelque jour un nombre assez important d'installations de cette nature vienne à se produire.

Le lac régulateur peut être embroché par le cours d'eau comme par exemple le Léman par le Rhône ou le lac d'Annecy par le Fier : il peut être placé latéralement au cours d'eau comme le Mœris par rapport au Nil, le Tienlé-Sap par rapport au Mekong, ou plus près de nous le lac du Bourget par rapport au Rhône. Selon ces différentes positions relatives la régulation du cours d'eau ne se fait pas tout à fait de même, et il y a là un sujet à méditer par les ingénieurs qui peuvent avoir des retenues à pratiquer dans les rivières. Le peu de temps imparti à cette causerie ne me permet que d'effleurer tous ces sujets, de vous les signaler et de vous en dire l'importance. C'est à vos méditations et à vos lectures studieuses de faire le reste.

Au surplus tout ce que je viens de vous dire comptait dans le domaine public et assurément vous en possédiez déjà les éléments tout au moins. C'est le vieux jeu ! Mais ce vieux jeu, il faut le connaître très bien afin de pouvoir le pratiquer le cas échéant dans toutes les circonstances où il est opportun, et il y en a beaucoup encore. Il y en aura même davantage encore à l'avenir, quand les considérations que je vais vous développer auront passé dans la pratique et produit leurs pleins résultats.

En effet, le lac et le barrage supposent qu'il y a toujours l'eau en abondance : ils n'ont donc leur raison d'être qu'après la venue de l'eau. Or, l'eau, il y a nombre d'endroits qui en manquent, et il faut d'abord s'ingénier à les pourvoir du précieux liquide.

Il n'y a pas fort longtemps que le mécanisme général de la formation des pluies et des vents nous est connu avec quelque précision. Il y a à peine soixante ans. Ce sont les travaux du commodore Maury, directeur de l'Observatoire de Washington qui ont mis en lumière le fonctionnement de la météorologie terrestre.

Maury avait depuis 1842 donné des instructions à tous les navigateurs américains que ceux-ci observèrent fidèlement. Trois fois par jour, en faisant leur point de 8 heures en 8 heures, ils consignaient sur leurs livres de bord, force et direction du vent, hauteur thermométrique et barométrique. Ces résultats, centralisés à l'observatoire par Maury et les officiers qui l'assistaient, permirent par leur discussion systématique de découvrir la loi exacte des alisés et des contre-alisés des moussons et des courants marins. En 1853, une conférence internationale se réunit à Bruxelles pour établir un plan général de recherches et de renseignements. C'est de cette époque, à laquelle il faut rattacher les efforts de Leverrier, Liass et bien d'autres, qu'a daté la météorologie positive et moderne dont le mouvement s'est grandement accentué depuis par le fait de l'usage du télégraphe électrique, de la navigation à vapeur et des essais de navigation aérienne.

Malheureusement la guerre de la Sécession vint écarter

le Virginien Maury de la marine fédérale et ses travaux de Washington furent interrompus. Il émigra en Angleterre et c'est là qu'il rédigea son merveilleux traité de *géographie physique*.

Maury a montré que l'air échauffé au voisinage de l'équateur monte sur la verticale et se déverse au Sud et au Nord sur les hémisphères arctique et antarctique. Les filets d'air qui participaient à la vitesse de rotation de la circonférence équatoriale viennent ainsi à la rencontre de filets animés de moindre vitesse, sur lesquels ils ont de l'avance. Ils soufflent donc, par le fait de la composition de ces vitesses du S.-O. au N.-E. dans notre hémisphère et du N.-O. au S.-E. dans l'autre.

Réciproquement l'air plus froid des pôles, donc plus dense est appelée du Nord et du Sud vers l'équateur par la dilatation que cause l'échauffement torride, et les filets froids dans cette course rencontrent des filets chauds animés de vitesses de plus en plus grandes sur lesquels ils sont en retard. Tout se passe donc comme s'ils faisaient opposition au mouvement de ceux-ci, donc, comme si l'air soufflait du N.-E. au S.-O. dans cet hémisphère et du S.-O. au N.-O. dans l'hémisphère central. Ces vents sont les alisés, les chauds, de direction inverse, sont les contre-alisés.

Au passage au-dessus des mers ces vents se chargent de vapeur d'eau qu'ils vont déposer au-dessus des continents. C'est par le dégagement de chaleur produit par la précipitation de l'eau que l'égalisation de la température est effectuée sur terre, sans elle il n'y aurait que des vents très chauds ou très froids et des climats excessifs.

La mer, dans son ensemble obéit à des lois analogues et les courants marins, et leurs contre-courants, se créent par le même mécanisme que les courants aériens.

La distribution des terres sur la surface de la planète vient déranger la régularité de ce tableau ; mais il est très facile de voir comment les mouvements fluidiques sont influencés par les continents et Maury l'a montré (1). Après lui tous les géographes, les frères Reclus en tête, ont répété à l'envi ses saisissantes démonstrations, aujourd'hui classiques, grâce à l'effort des vulgarisateurs.

D'autres observateurs se sont ingéniés à continuer son œuvre et les récents progrès de la physique du globe, l'application des lois de la physique à l'étude de la géographie, nous ont appris qu'il y a des régions terrestres sur lesquelles la raréfaction des pluies se poursuit depuis de très longues durées, antérieures sans doute à la venue de l'homme sur notre globe, tandis que sur d'autres depuis des époques aussi reculées, se déversent avec régularité des pluies fort abondantes.

Il ne saurait entrer dans le cadre de l'activité humaine, au moins dans l'état actuel de nos connaissances de chercher à faire revenir les pluies dans le Sahara autour du lac Tchad, dans l'Utah autour du Grand Lac Salé dans le steppe Kirghiz autour du lac d'Aral en Chine dans le désert de Gobi près du lac Koukou-Nohor, non plus que dans le désert de Burke en Australie, ou dans le Kalahari, ou à Lima.

Cependant, maintenant que la loi de la raréfaction des pluies sur les zones désertiques semble bien constatée, il paraît possible d'en saisir les manifestations sur des aires plus restreintes et par suite plus accessibles à notre observations journalière comme à notre action ; et, par des opérations lentement et longuement poursuivies dans des vues bien méditées, d'avoir raison de ces sécheresses malades de notre habitat dans les cas simples et faciles.

Il sera sans doute possible à l'homme de s'attaquer ensuite à des espèces plus difficiles, plus importantes, et s'il est assez sage pour suivre une idée juste pendant un temps qui aujour-

d'hui nous paraît devoir être long, mais qui, rapproché de ce lui de l'évolution de la race, est assurément fort court, il arrivera quelque jour où la pluie, et avec elle la végétation, sera dans une certaine mesure, appelée dans les déserts que je viens de vous énumérer.

Assurément ce serait là un des gestes dont, à bon droit, l'homme pourrait se montrer le plus fier. Il consacrerait la puissance de son intelligence, de sa volonté, de son âme sur la matière. Quel triomphe pour lui, chétif et microscopique par rapport à cette petite planète qui lui paraît si grande et qui n'est pourtant pas même un point géométrique pour le vaste Univers, que de pouvoir après avoir conçu que cette petite base lui permettait de mesurer l'univers, y vérifier dans un ordre de grandeur relativement considérable pour lui la force réelle de sa conscience ! Or, dans l'état actuel de notre science, si la réalisation complète d'un tel idéal semble encore bien lointaine, sa conception ne présente rien de spécifiquement chimérique.

Ceci soit dit pour vous montrer qu'on ne doit pas désespérer devant le péril planétaire signalé en 1902 par M. Franz Schrader dans une lettre célèbre (1).

Cette loi de raréfaction des pluies la voici telle qu'elle résulte d'observations anglaises faites dans le Sahara, il y a quinze à vingt ans :

1° La pluie est rare dans les déserts qui bordent et jalonnent la zone torride.

2° La pluie est aussi relativement rare, en dehors des zones désertiques, dans les bassins déprimés, même si leur centre est occupé par une mer, un lac, un cours d'eau.

La constatation de cet état des choses est facile. Les pluies sont plus rares en pleine mer que sur les continents, le bassin de la Méditerranée, qui est fermé est fort peu pluvieux.

Dans les bassins maritimes fermés, les pluies tombent de préférence sur les bords de la mer qu'en pleine mer et elles sont plus abondantes sur les côtes escarpées que sur les littoraux bas ; il pleut plus vers Gènes que sur Agde.

Même dans nos pays l'observation de ce phénomène sous une échelle réduite est très facile. En été, pendant les pluies d'orage, il arrive souvent qu'un petit cyclone parcourt en totalité ou en partie le cirque montagneux entourant Grenoble et laisse la ville en dehors de ses ondées. Tandis que dans la haute montagne il tombe annuellement deux mètres de pluie, à Grenoble il n'en tombe que 0 m. 86, soit 43 %, moins de moitié.

Des faits semblables s'observent à Albertville et, en général, à tous les carrefours dans les vallées à berges escarpées.

Il est fort probable, pour ne pas dire plus, que ce phénomène s'est produit dès la fin de l'ère glaciaire récente, s'est accentué pendant les périodes diluviennes subséquentes et que c'est ainsi que lorsque les eaux ont pris les cours que nous voyons actuellement au Rhône, à l'Isère, et à leurs affluents, pour ne pas sortir de la région qui nous est proche, les lacs comme le Léman, le Bourget, le lac d'Annecy sont allés en se rétrécissant de plus en plus, la pluie ne couvrant en abondance qu'une partie de l'aire géologique qui leur appartient, diminuant ainsi par sa distribution

(1) Mgr Rougerie, évêque de Rodez, a fait, à ce sujet, il y a une quinzaine d'années, de très intéressantes communications aux sociétés savantes.

(1) Il y a, dans cet ordre d'idées, une remarque à faire. Au moment où la dernière période fluvio-glaciaire a pris fin, la croûte terrestre, laissée par les eaux et les glaces, était nue, et elle ne s'est gazounée et boisée que lentement, petit à petit, et souvent, cependant, d'une manière bien puissante. S'il a donc été possible à la nature d'étendre, sans aide étrangère, par le jeu seul de sa spontanéité, un manteau vert sur le sol, l'homme peut, sans pêcher par excès d'orgueil, espérer que, le jour où il voudra bien y penser, il pourra aider la nature à conquérir les places dénudées où elle n'a pas encore colonisé. Cette réflexion suffit, à notre avis, à établir que l'espoir que nous exprimons ici n'est pas chimérique. Il est vrai que, jusqu'ici, l'homme a fait tout le contraire de ce qu'il faudrait pour atteindre ce résultat ; mais il ne savait pas ! Aujourd'hui, la conscience lui vient...

le volume total que, pour une même densité de précipitation, elle eût apporté si elle fût tombée en égale abondance au centre de ces bassins comme sur leur pourtour.

Il y a évidemment là une grande loi naturelle qu'il serait absurde de vouloir contrarier de front ; mais n'est-il pas permis de penser que, si nous savons utiliser cette fréquence relative des pluies sur les pentes abruptes pour y favoriser le développement d'une végétation que nous y ferons pousser, il arrivera bien quelque jour où cette végétation sera assez fournie pour déborder son aire primitive par en haut et par en bas et pour conserver de l'humidité sur des sols qui n'en auront jamais gardé auparavant ? Et c'est ainsi que de proche en proche un climat local sec peut dans la mesure de la possibilité, s'humidifier peu à peu.

En tout cas, maintenant que le danger est reconnu, il est urgent de l'empêcher de croître et, par suite, de combattre toutes les petites extensions désertiques parcellaires qui tendent à s'organiser partout où la configuration du sol s'y prête.

Notre conviction intime est qu'avec un peu de suite dans les idées cette défense est facile et nous sommes non moins solidement convaincus que lorsque l'homme le voudra bien son offensive sur les régions désertiques sera efficace s'il sait aller méthodiquement avec persévérance du simple au complexe.

Le vent accompagne la pluie, car sauf sous l'équateur, la pluie résulte de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air humide et chaud apporté par les vents au contact de masses aériennes plus froides.

Des courants d'air inverses se produisent après cette condensation du fait du comblement par l'air ambiant de la place que la vapeur d'eau tenait dans la masse apportée.

Ces vents divers s'écoulent par tous les pertuis et tous les cols qui dentellent les lignes de faîtes ou même les grandes dépressions qu'on y voit et, en ces points, l'évaporation est maxima. Dans les pays tempérés, elle peut atteindre jusqu'aux $\frac{3}{4}$ de la pluie tombée et les $\frac{4}{5}$ entre les parallèles de 23° N. et S. Voilà une raison de plus pour que l'humidité se maintienne mieux sur des pentes couvertes de végétation que si elles sont dénudées, et mieux encore dans le fond de la vallée que sur ses berges.

Parmi les vents, ceux du Nord sont plus desséchants que ceux du Sud (dans notre hémisphère s'entend) et, notamment dans nos Alpes, les versants exposés au Sud ont une allure torrentielle plus accusée que ceux qui sont exposés au Nord.

Contrairement à une opinion que nous avons entendu émettre, l'influence de la végétation se fait sentir sur l'humidité atmosphérique à des hauteurs au-dessus du sol bien plus considérables qu'on ne pourrait le croire *a priori*.

Le colonel Renard a dû jeter du lest par 1500 mètres de hauteur au-dessus de la forêt d'Orléans, tant la marche de son ballon était alourdie par l'humidité exhalée par la forêt ; de même, dans leur ascension d'octobre 1900 (Le Centaure) M. H. de la Vaux et Castillon de St-Victor ont senti leur ballon s'alourdir en passant au-dessus des marais de Pinsk (11 octobre matin).

Plus la végétation d'une région est opulente, plus il se crée comme une respiration journalière de la terre se traduisant par des condensations et des vaporisations quotidiennes favorables à la pérennité du phénomène, tandis que les déserts ignorent ce rythme et n'ont guère que les précipitations parties de très haut, peu fréquentes, mais très volumineuses quand elles se manifestent.

L'humus peut absorber jusqu'à 70 % de son volume d'eau, c'est-à-dire que sur un hectare couvert d'une couche d'humus épaisse de 0 m. 10 on peut espérer retenir 700 m³ d'eau.

La couverture naturelle, feuilles, écorces, débris non encore convertie en humus peut en contenir de 3 à 5 % de son poids à l'état sec et, quant à la couverture forestière,

elle peut retenir de 2 à 9 fois son poids d'eau, selon les espèces, les terrains, les expositions.

Si l'on joint à cette eau incorporée dans la couverture par le jeu même des forces moléculaires, capillaires, osmotiques, celle qui est simplement retardée dans son mouvement, on voit que les harmoniques du balancement de l'évaporation et de la condensation sont puissamment amorties par le condensateur végétal.

Les neiges sont retenues de même et leur fonte qui, lorsqu'elles sont tassées à l'état de firn (compression de $\frac{4}{5}$ de la hauteur à l'état frais) peut dans certains cas sous l'influence des vents chauds et du soleil atteindre 0 m. 50 à 0 m. 70 par jour aux expositions favorables, ce qui équivaut à une lame d'eau d'environ 0 m. 33 d'épaisseur, se trouve modérée par les écrans que les troncs et les moindres branches opposent aux vents et aux radiations solaires, en même temps que les arbres forment un rempart contre le glissement trop facile des avalanches. Si toutes ne sont pas arrêtées par ce moyen, beaucoup sont amorties, il n'y a pas deux mois qu'un faubourg du Bourg-d'Oisans a dû son salut à l'obstacle qu'un petit bois a opposé à une avalanche descendant lors du premier dégel. Au printemps, c'est tous les jours qu'on peut relever des exemples de cette protection mécanique donnée par l'arbre contre le glissement des neiges.

A mesure qu'on s'élève sur la verticale le degré hygrométrique de l'air diminue, si bien que dans les hautes altitudes l'humidité est presque inconnue.

A égalité de degré hygrométrique, la quantité d'eau qui sature l'atmosphère est d'autant plus grande que la température est plus élevée. Donc, toutes choses égales d'ailleurs, l'atmosphère contient plus d'eau en été qu'en hiver.

Dans les hautes altitudes cette eau se dépose en neige et quand le rayonnement nocturne est suffisamment intense cette neige se réduit promptement en glace. Aux altitudes moyennes et inférieures, c'est de la pluie en été et de la neige en hiver, et nous voyons, d'après ce que nous venons de dire des quantités absolues d'eau contenues dans l'atmosphère, que la couche liquide qui résultera de la fonte de ces neiges sera moins épaisse que celle qui résultera des pluies estivales.

Avec la neige le seul danger est celui de la fonte brusque, avec la pluie le danger, c'est le ruissellement : il est bien plus redoutable et c'est lui que nous devons combattre par tous les moyens.

La végétation est un moyen puissant et il s'offre avec à propos, si on réfléchit que la moitié de l'eau que contient l'arbre est dans ses feuilles et que celles-ci étant à leur poste en été, c'est au moment où le besoin est le plus pressant que l'arbre est en meilleure posture pour se saturer de liquide au point de s'en dilater, de croître et d'en demander toujours davantage.

Du fait que l'humidité est faible aux hautes altitudes, joint à la puissance du rayonnement nocturne et à celle de l'insolation journalière, il résulte que les sommets élevés ne reçoivent pas de végétation et que l'eau ne s'y fixe qu'en se solidifiant en glace.

Plus bas, alors que l'humidité a cru légèrement, atténuant l'insolation journalière et le rayonnement nocturne, des brouillards peuvent subsister et encore que les circonstances locales soient trop rudes pour l'arbre dont la racine, la tige et la feuille ne sauraient s'accommoder des très brusques transitions de chaud au froid qui sont encore la normale dans ces régions, une végétation peut venir, mousses et herbes dures.

Plus bas encore le pré se forme et s'enrichit, et plus bas naît la forêt de conifères, dans les régions encore trop rudes aux feuilles qui réclament des conditions atmosphériques plus clémentes.

La forêt exhale et retient des brouillards dont la condensation alimente la vie du pré ; d'autre part, quand la glace du sommet fond, en même temps que la manteau de neige

qui a recouvert la prairie supérieure, l'alp, le lacis de ses racines s'imbibe de cette eau, l'herbe se nourrit et la prairie s'alimente par en haut et par en bas.

Il y a donc là tout un vaste système qui retient l'eau automatiquement lorsqu'elle est abondante et l'exhale non moins automatiquement quand elle tend à se raréfier. On a pu, avec juste raison, dire que la végétation qui couvrait le sol était un véritable réservoir physiologique pour les cours d'eau.

Nous avons vu le bois barrer la route à l'avalanche, nous voyons de même l'herbe et la mousse protéger la terre, l'empêcher de se détruire, de suivre l'eau dans son ruissellement et de rayer le sol en traits sculptés d'autant plus profonds que le mouvement est plus accéléré, soit qu'il parte de haut, soit qu'il se produise le long d'une pente plus roide.

Donc une belle pelouse, une belle forêt seront une protection pour le cours d'eau qu'elles rendront plus régulier, plus propre, moins dangereux.

Réciproquement l'eau alimente la forêt et la pelouse, et là où le régime hydrologique est régulier, l'armée végétale progresse et marche méthodiquement à l'assaut de la cime. La pelouse monte au plus haut, la forêt entreprend sur la pelouse et pousse ses colonies au plus près qu'il lui soit permis de la cime pour le plus grand profit du peuple feuillu qui suit. Ainsi protégé des frimas, des sécheresses et des brutalités de l'eau déchainée, il grandit, grossit et prospère, récompensant ainsi l'homme non pas même de lui avoir fait du bien, mais simplement de ne pas lui avoir fait du mal.

Cela est si vrai que lorsque, inconsidérément, l'homme surcharge la prairie de moutons trop nombreux, coupe trop d'arbres, en brûle des cantons entiers pour les défricher et comble de l'aberration pour un montagnard, pour y pousser sa charrue, incontinent, la forêt et le pré rétrogradent, bientôt leur retraite se change en une déroute dont l'imprudent bipède paie tous les frais non seulement dans la montagne, mais encore à son pied et loin dans les plaines jusqu'à la mer même dont les ports sont ensablés du fait de la démarche irraisonnée du laboureur montagnard.

Ce que je vous dis là n'est pas hélas une invention, vous pouvez le lire sur le sol de la Gascogne depuis les sommets pyrénéens jusqu'au port de Bordeaux, ou le long du cours de la Loire, depuis le Velay jusqu'à Nantes, même dans le Rhône. Cela soit dit en négligeant les exemples de moindre envergure qui n'en sont pas moins tristement probants, par eux-mêmes comme celui de la Durance, ou par leur nombre comme ceux des fleuves qui épanchent les eaux cévénoles et catalanes dans la Méditerranée.

Il y a une solidarité entre tous les riverains d'un cours d'eau et elle ne se limite pas aux cantons où la fantaisie de nos aïeux a changé le nom du cours d'eau, elle va du point le plus haut au point le plus bas sans aucune exception.

Tous les Bordelais sont intéressés par les actes de l'un quelconque des bergers qui circulent tout du long de notre versant pyrénéen ou dans la montagne noire et sur le versant sud de l'Auvergne, dans le Quercy ou dans le Limousin.

Tous les Arlésiens sont intéressés à la conduite sage des montagnards alpins depuis le glacier du Rhône jusqu'à l'Enchastraye, à celle des Jurassiens, Bourguignons, Foréziens et Cévenols.

Et ce n'est pas là un paradoxe. Les inondations dont on garde avec soin le souvenir sur les murs des maisons ne sont pas des rêves. Si le jeu des forces naturelles peut être incriminé à leur endroit, la sottise humaine peut, sans exagération, être mise en parallèle avec elles, et cela donne une haute idée de sa grandeur. Quand les routes et chemins de fer sont coupés par une inondation il n'y a plus moyen pour les commerçants d'écouler les produits. Que ne donneraient-ils alors pour avoir la route libre ?

Eh bien s'ils s'étaient intéressés à l'avance, comme il convient, aux questions forestières, l'événement ne se serait pas produit. Cet intérêt c'est pour eux une prime d'assurance contre un danger connu et probable.

Que de deuils, que de ruines ont été la conséquence des défrichements inconsidérés, des convoitises malavisées de nos ancêtres laboureurs ou bergers !

Il est de toute équité de dire à la décharge de ceux-ci qu'ils ne savaient vraiment pas de quelles conséquences seraient leurs actes. Ils voyaient le profit, l'appropriation immédiats, ils ne voyaient pas la conséquence éloignée. Mais nous, nous savons maintenant, et nous serions impardonnables de continuer leurs errements désastreux par paresse et pusillanimité. L'intelligence de l'homme à laquelle nous nous plaisons par ailleurs à rendre hommage, doit lui servir d'abord à triompher de sa sottise et de ses erreurs ; à ce prix il deviendra réellement le maître du monde, mais à ce prix seulement. Non seulement nous en savons plus long que nos devanciers (sans pour cela croire que nous ayons déjà acquis toute la science), mais encore nous sommes mieux outillés.

Autrefois le montagnard avait quelque raison pour défricher sa montagne, gratter une terre peu fertile, ingrate, qui ne payait sa peine que par un rendement ridicule en qualité et en quantité des céréales à elle confiée. Les communications étaient si lentes, si difficiles, la vie est si rude dans la montagne, le paysan y est si pauvre que, ma foi, il était bien en droit de dire : « Vivre d'abord, raisonner ensuite ».

Aujourd'hui, c'est changé. Le réseau routier depuis cinquante ans s'est singulièrement changé. Le chemin de fer et le fil télégraphique pénètrent dans des vallées où ne pénétraient pas les voitures autrefois, et avec eux toutes les denrées viennent sur les marchés de la montagne, meilleures, plus abondantes, à aussi bon prix, même, quand on tient compte de tout, à moindres frais que jadis. Les connaissances et les idées suivent aussi la même voie : le montagnard voit son isolement cesser. Dans ces conditions, persévérer dans des errements reconnus fautifs, serait un crime inexpiable.

Commandant AUDEBRAND,

(A suivre.)

Ingénieur,

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

LE MOIS HYDRO-ÉLECTRIQUE

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Appareil pour la mesure de l'écoulement des liquides. — Note de M. KREBS. — Séance du 8 avril.

Nous employons, depuis quelque temps déjà, dans les essais de moteurs à pétrole, un appareil permettant de connaître à simple lecture le débit en litres à l'heure du combustible liquide consommé par le moteur.

Les renseignements fournis par cet appareil, pour l'écoulement des liquides en général, sont absolument de même ordre que ceux fournis par l'ampèremètre, pour l'électricité ; ils donnent à chaque instant la mesure du débit. Nous avons pensé que son emploi pourrait être de quelques utilités dans diverses circonstances, et, en particulier, dans les expériences de laboratoire ; c'est à ce titre que nous en donnons la description.

Un réservoir à niveau constant alimente la conduite par laquelle doit s'écouler le liquide dont on veut mesurer à chaque instant le régime d'écoulement. Dans cette conduite, à une certaine distance au-dessous du réservoir à niveau constant, est disposé un robinet portant un orifice relativement petit, et percé en mince paroi. Immédiatement après ce robinet, se trouve branché un tube vertical en verre, montant un peu au-dessus du niveau du vase à niveau constant. Enfin, on dispose quelque part sur la conduite (après le branchement du tube de verre, par exemple) un robinet destiné à régler l'écoulement du liquide.

Ce dernier robinet étant supposé fermé, et le robinet avec orifice