

périeur à celui même que la Centrale peut donner, on prendra le courant de court-circuit de la Centrale.

Lorsque tous ces courants de court-circuit sont calculés, il ne reste plus à déterminer que les valeurs des surcharges durables admissibles dans les différentes canalisations en série à protéger, ainsi qu'à fixer les valeurs décroissantes des temps de déclenchement pour ces surcharges, et à tracer sur un diagramme toutes les courbes des relais dont devront être munis les différents interrupteurs, en fonction des courants primaires et du temps.

L'EXPLORATION DES PYRÉNÉES SOUTERRAINES

ÉTUDES HYDROLOGIQUES

Les Annales de la Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles, contiennent dans leur fascicule n° 40, récemment publié par le Ministère de l'Agriculture, un rapport du distingué spéléologue, E.-A. MARTEL, sur les résultats de la « Mission pour l'exploration des Pyrénées souterraines », qui effectua ses travaux en juillet-août 1909, avec la collaboration de MM. E. Fournier, E. Maréchal, L. Rudaux, Bourgeade, D^r Dunac et Maugard. Ce rapport où le pittoresque des descriptions égale l'intérêt des observations scientifiques, remplit 96 pages illustrées de nombreuses et superbes photogravures, de cartes, coupes géologiques et profils. C'est un monument de la plus haute valeur qui intéresse à la fois le géologue, l'hydraulicien et le touriste, mais qu'il nous est impossible de résumer parce qu'entièrement fait de documents très concis. Il fait d'ailleurs suite à des rapports précédents qui ont relaté les observations recueillies au cours de précédentes missions d'exploration des Pyrénées souterraines. Pour donner un aperçu de ces trois campagnes successives de 1907, 1908 et 1909, nous empruntons au même fascicule n° 40 de la Direction de l'Hydraulique, les pages suivantes qui sont l'analyse d'une conférence faite à la *Société de Géographie*.

ORGANISATION DES CAMPAGNES. — Pour compléter ses études souterraines, progressivement étendues des Causses (depuis 1883) aux principales régions calcaires de France, d'Europe et même du Caucase (1903), M. Martel avait le vif désir d'interroger, au moins dans ses grandes lignes, le sous-sol des Pyrénées. Plusieurs excursions préliminaires (1896, 1900, 1902) lui avaient prouvé que, malgré les recherches déjà faites antérieurement (surtout au point de vue préhistorique, paléontologique, zoologique) les cavernes bien connues de Sare et Bétharram (Basses-Pyrénées), Gargas (Hautes-Pyrénées), le Mas-d'Azil, Malarnaud, Bodeillac, Niaux, Lombrive, Lherm, Fontestorbes (Ariège), etc., non seulement n'étaient pas les seules des Pyrénées françaises, mais encore n'avaient nullement livré les secrets de leur formation et de leur rôle hydrologique ; en outre, des renseignements précieux lui avaient appris que les abîmes et gouffres devaient être non moins nombreux que dans les Causses, les Alpes, le Jura, et que l'on n'en connaissait absolument rien ; enfin ses premiers essais personnels avaient établi que les recherches souterraines aux Pyrénées seraient particulièrement coûteuses et pénibles, à cause de l'absence d'aides expérimentés dans la région, et à cause de la cherté des transports et subsistances, particulièrement autour des stations thermales et touristiques.

La création au Ministère de l'agriculture, par l'initiative éclairée de M. Dabat, directeur de l'hydraulique et des amé-

liorations agricoles, d'un comité d'études scientifiques, devait résoudre la difficulté. A la suite d'une enquête préparatoire, effectuée à ses frais, en 1907, et qui fit voir combien d'intéressantes questions étaient posées par le sous-sol pyrénéen — à ne parler que du territoire français, car en Espagne, il y a certainement encore plus à faire — M. Martel put dresser un programme d'exploration, pour lequel M. Ruau, ministre de l'agriculture, d'après l'avis favorable du comité d'études scientifiques, voulut bien allouer les importantes subventions nécessaires pour deux campagnes successives en 1908 et 1909.

Ces trois étés d'investigations — ayant ensemble duré quatre mois — et leurs principales acquisitions et constatations nouvelles apprendront aux ingénieurs et aux municipalités comment il faut, au point de vue des applications pratiques, utiliser non seulement les eaux souterraines, mais encore les torrents des Pyrénées ; au passage cette mission officielle a révélé, pour les touristes, des sites qui se classent en premier rang des merveilles pittoresques de la France.

Les collaborateurs savants, énergiques et dévoués des trois campagnes, ont été MM. E. Fournier, Le Couppey de La Forest, le docteur Maréchal, Lucien Rudaux, Bourgeade, Veisse, Dufau, Maugard, les docteurs Reymond, Jammes, Jeannel et Dunac, etc. Grâce à leur aide active et désintéressée, il a pu être examiné environ 200 points et localités, relevé 150 plans et coupes et pris 1.500 clichés photographiques. M. Rudaux a exécuté, là où la photographie était impraticable, un grand nombre d'aquarelles, dont quelques-unes ont été envoyées à l'Exposition de Bruxelles par les soins de la direction de l'Hydraulique agricole.

Les deux départements des Basses-Pyrénées et de l'Ariège ont été particulièrement féconds en résultats.

L'exploration du haut pays de Soule ou Bassa-Buria (Tête-Sauvage) aux sources du Saison ou gave de Mauléon, en amont de Tardets-Sorholus, a été faite avec assez de détails et on y a trouvé que les « canons » du pays basque sont d'incomparables merveilles.

Entre 1 000 et 1 760 mètres d'altitude, on y a reconnu plus de 40 abîmes dépassant souvent 100 mètres de profondeur ; beaucoup étaient bouchés par la neige : une douzaine ont été descendus. Les pertes de ruisseaux sont nombreuses, et un magnifique « lapiaz » (les Bracas) au pied du pic d'Anie (2.504 mètres) était tout à fait ignoré, et non moins remarquable que ceux du Parmelan et du désert de Platé en Savoie, et de l'Oucane de Chabrières (Hautes-Alpes).

LES MÉFAITS DU DÉBOISEMENT ET DU PACAGE. — On a surtout pris sur le fait les ravages désastreux que les moutons espagnols exercent sur le peu de forêts qui subsistent en ces parages.

Dans le dessèchement du sol le rôle du berger est en effet prépondérant.

Et la responsabilité de ceux qui continuent à lui abandonner nos hauts plateaux au lieu d'y reconstituer nos forêts est écrasante devant l'avenir.

Derrière Saint-Jean-Pied-de-Port et Mauléon, sur une zone de plus de 100 kilomètres carrés, d'innombrables absorptions engloutissent à peu près toutes les précipitations atmosphériques : la fissuration du sol, le déboisement et le pacage ont livré tout ce territoire — et ses environs bien au loin, en Espagne surtout — aux ravages de leur conjuration.

On ne sait même pas toujours où reparaissent ces pluies perdues, ni la fonte lente des inutiles emmagasinevements de neige empilés dans les gouttières engorgées des abîmes ;

Entre les mailles du tamis de pierres, où s'évanouit sans retour tant de richesse hydrique latente, le mouton achève d'arracher le dernier brin d'herbe, le dernier terreau végétal, décoiffant toujours de nouvelles crevasses sur cette surface grêlée de trous comme les cratères de la lune.

Si l'on enregistre avec indifférence la diminution de plus de moitié qui a frappé les forêts de France au début du XIX^e siècle ; si l'on ne se rend pas compte que les conséquences du déboisement se propagent en réelle progression géométrique ; si l'on ne revient pas aux sages mesures protectrices de jadis (1) ; si l'on n'admet pas qu'une réfection de 100 000 francs hier, vaut 1 million aujourd'hui et en coûtera 10 demain, il est assuré qu'il suffira d'un siècle encore pour que le bassin de la Garonne — comme la majeure partie de la France — n'ait plus ni forêts, ni sources, ni terre végétale, ni rivières navigables, ni culture dans ses champs taris, ni commerce dans ses ports ensablés !

LA FORÊT D'IRATY ET LES CANONS VOISINS. — La source de la grande Nive, en amont de Béhérobie, sort d'une grotte où il y aurait lieu d'étudier la possibilité d'un serrement comme à la Bidouze et à Fontaine-l'Évêque.

Ces eaux sont en relation plus ou moins directe avec de nombreux gouffres atteignant 100 mètres et plus de profondeur (forêt d'Orion) et où les bergers franco-espagnols continuent à jeter les bestiaux morts. Le plus vaste est précisément à cheval sur la frontière : il était rempli de charognes. Il y aurait lieu de provoquer en Espagne l'interdiction de cette pratique.

La forêt d'Iraty, une des plus belles d'Europe, est en fait inexploitée et devrait être reboisée dans sa partie supérieure ; mais les améliorations qui rendraient ainsi utilisables environ 5 000 hectares de bois, ne pourraient être effectuées tant qu'une modification de frontière n'aura pas eu lieu.

En effet, la majeure partie de la forêt, quoique sur le versant des eaux espagnoles, appartient à la France. Celle-ci n'a donc aucun intérêt à réaliser un travail de reconstitution qui profiterait uniquement à la nation voisine ; d'autre part, et faute de chemins, l'exploitation par la France est impossible.

L'absurde tracé des frontières du pays basque entraîne donc cette conséquence, que la merveilleuse forêt d'Iraty ne profite à personne.

Il y aurait lieu de conseiller à la diplomatie l'échange de la forêt d'Iraty française contre le Val-Carlos espagnol.

Pour l'étude des profils en long des torrents, on a relevé ceux des trois canons d'Uhadjarré, de Cacouette et d'Holcarté-Olhadibie, qui se rangent tous trois, au point de vue pittoresque, parmi les grandes curiosités de la France.

Le premier est presque complètement desséché par les captures souterraines de son torrent.

Dans le second une dizaine de cavités curieuses amènent encore, pour la plupart, des résurgences qui n'ont pas encore crevé partout leurs supports marneux, mais qui fournissent d'innombrables signes de dessiccation progressive.

L'une d'elles, le trou du Mouton, est la base et l'issue — débitant encore un filet d'eau — du grand abîme de Heyle (trou d'Audiette), qui aurait 265 mètres environ de profondeur totale ; par en haut, on n'a pu le descendre qu'à 35 mè-

tres à cause des chutes de pierres, mais il a été sondé jusqu'à 150 mètres ; par en bas, on l'a remonté jusqu'à 65 mètres de hauteur ; une expérience de matériaux jetés dans le gouffre a prouvé la communication ; avec une solution de continuité de 50 mètres, il est donc virtuellement connu et indique nettement comment les absorptions des plateaux débouchent dans les thalwegs qui les drainent. C'est une constatation des plus curieuses.

Le projet de barrage du gave de Mauléon, dont la concession a été demandée le 25 février 1909, devra être sérieusement examiné et considérablement modifié parce que, tel qu'il a été conçu, il est irréalisable, inutile et nuisible.

Le canon d'Holcarté-Olhadibie surtout est une merveille unique, entièrement inconnue avant les recherches de 1908 et 1909, qui en ont exploré une étendue de 3 800 mètres sur 4 400 ; le surplus s'étant montré complètement impraticable.

Il est du plus haut intérêt que ces canons soient aussi promptement que possible rendus accessibles aux touristes, dans l'intérêt général de la région et surtout de la station thermale de Salies-de-Béarn.

Au sud-ouest de Mauléon, le massif de calcaire crétacé de la forêt des Arbailles (ou de la Tigra) entre Aussurucq et Mendive est un véritable château d'eau, tout percé de gouffres — nommés lesias — et de points d'absorption analogues aux poils du Vercors et tout sillonné de vallées desséchées.

La mission y a résolu l'énigme des sources de la Bidouze.

Il y a là deux sources distantes l'une de l'autre de quelques décimètres.

La source de l'Est est de beaucoup la plus intéressante quant à l'intérieur : elle a fait découvrir une belle et vraie rivière souterraine coupée de gours ou de barrages de stalagmites.

L'indépendance des deux émergences de la Bidouze est flagrante. Et une fois encore, que devient, en présence de ces empiriques et irréfutables constatations, l'abusivité de la théorie des nappes d'eau ?

Dans tous les abîmes et entonnoirs des Arbailles on jette ou il tombe des bêtes mortes, ce qui rend les sources impropres à l'alimentation.

Là encore, il faut surtout respecter scrupuleusement la forêt et toute végétation du massif. Si l'on déboise, les mailles ouvertes du tamis se multiplieront, rien ne régularisera plus la propagation du liquide à travers les conduites de ce château d'eau naturel et les quatre résurgences connues acquerront un régime encore plus capricieux que maintenant. Elles passeront sans transition de l'inactivité à peu près complète, désastreuses pour les irrigations d'aval, à la pléthore inondante qui ravagera tout.

Comme utilisation pratique on doit songer à la capture industrielle de la Bidouze et à sa régularisation par un serrement, un rétrécissement artificiel de l'orifice.

A l'est du pays basque, le profil en long du gave d'Ossau-Brousset a établi que les roches dures, telles que le granit, présentent une pente beaucoup plus forte que les schistes et les calcaires ; il en résulte, dans les profils, des bombements qui rendent la courbe de ces profils bien moins régulière que ne le suppose la théorie géographique actuellement professée.

Dans la partie moyenne du Val-de-Brousset, sur la route de Pourtalet, on pourrait étudier la création d'un barrage qui ferait refluer les eaux sur 2 kilomètres d'étendue.

Le profil en long du Soussouéou aboutit aux mêmes conclusions que le précédent. De plus, l'emplacement choisi pour le barrage actuellement en cours d'exécution dans cette

(1) En Béarn, dès 1279, on punissait d'amende l'abatage et même l'écorage des arbres ; pendant des siècles le pacage des troupeaux y fut étroitement réglementé. Les ravages commencèrent sous Louis XIV ; puis Choiseul décima les forêts pyrénéennes pour pourvoir la marine du bois de mâture (v. LACOUR-GAYET, *La marine militaire sous Louis XV*. Paris, Champion, 1902).

vallée, pour fournir la force motrice électrique aux chemins de fer de la compagnie du Midi, a été très judicieusement fixé sur des schistes imperméables.

LES SOURCES DE LA VALLÉE D'OSSAU. — Les sources de la vallée d'Ossau (Basses-Pyrénées) sont fort intéressantes entre Laruns et Arudy. La température de celles du Béon prouve qu'elles sont complètement indépendantes du gave d'Ossau, contrairement à ce qui avait été affirmé. De même pour celles de Gère-Belesten très importantes. Sur la rive gauche du gave, à une cinquantaine de mètres du lit, elles jaillissent dans deux bassins principaux analogues à ceux du Loiret, et par de nombreuses émergences secondaires, à 2 mètres environ au-dessus du niveau du gave. Leur volume est considérable et leur température de 8°,5, alors que celle du gave est de 17°, exclut toute idée de connexion avec ce dernier. D'autres sources analogues se rencontrent dans la vallée. Situées toutes exactement sur une même ligne droite, l'existence d'une grande cassure les amenant au jour est une hypothèse qui s'impose. Quant à leur origine, il faudra la rechercher, étant donnée leur basse température, dans les formations calcaires élevées environnantes.

Au-dessous des Eaux-Bonnes, le plateau d'Anouillas (crétacé supérieur) au pied occidental du pic de Gér (2 612 m.) est une vaste zone d'absorption des eaux pluviales qui pénètrent dans de nombreux gouffres entonnoirs où pourrissent quantité de cadavres d'animaux... Vers 1 925 mètres s'ouvre le plus important des gouffres qui n'a pu être exploré, faute de bêtes de somme et d'aides aux Eaux-Bonnes et aux Eaux-Chaudes. Dix kilogrammes de fluorescéine, jetés le 8 août 1909 dans le gouffre d'Anouillas n'avaient (à la fin de février 1910) encore coloré aucune des sources (thermales ou ordinaires) d'Eaux-Chaudes ni d'Eaux-Bonnes.

LES GROTTES DES PYRÉNÉES. — La grotte de Bétharram, dont la rivière souterraine n'a été découverte qu'en 1889 par MM. Ritter, Lary, Campan, est la plus étendue des Pyrénées avec ses 3 400 mètres reconnus, plus 850 mètres au moins de galeries inaccessibles. Elle est creusée dans un calcaire crétacé extrêmement fissuré, tant par les joints de stratification que par d'innombrables diaclases. Ses nombreux étages constituent en coupe une claire-voie compliquée ; leur ensemble est un spécimen frappant du travail de cavernement, perforations et descentes d'eaux qui se réalisent en desséchant les hauts niveaux, phénomène qui se continue actuellement.

Dès 1900, M. Martel en avait dressé le plan, avant l'aménagement qui a été effectué en 1904 (lumière électrique, escaliers de bois, barques, etc.), et qui rend facile pour tout le monde la visite de cette admirable grotte.

Dans les Hautes-Pyrénées, l'étude des trois étages de la grotte de Gargas et sa relation possible avec celle voisine de Tibiran apportent une probante contribution à la loi du dessèchement progressif des calcaires et de l'enfouissement continu des eaux dans leur profondeur. Dans cette même région, le gouffre de Poudak, près Générès, profond de 20 mètres et rempli d'eau, présente un remarquable phénomène d'intermittence ; la hauteur de l'oscillation constatée a été de 4 mètres : montée en quinze minutes, étale de 3 mètres, descente en quarante minutes. Un peu plus loin, après un conduit souterrain impénétrable, ces eaux débouchent dans un creux moins profond, se remplissant et s'asséchant en une période de vingt-neuf minutes. D'autres pertes et passages souterrains existent encore à l'aval. Le tout ne fonctionne qu'après les pluies, mais aboutit à une résurgence pérenne à Plan-de-Pouts.

Dans la Haute-Garonne, entre 400 et 1 300 mètres, les montagnes calcaires d'Arbas sont percées de cavités, avec des zones aquifères à tous leurs étages. Leur étude montre une fois de plus que ce sont la pesanteur, le travail mécanique et chimique de l'eau, le caprice des fissurations et le travail des interstratifications imperméables qui régissent la circulation des eaux souterraines, en déjouant souvent les plus rationnelles prévisions. C'est ce qu'on nomme le massif de Pène-Blanque (terrain crétacé et jurassique, reposant sur des schistes primitifs). On n'y connaissait (et encore incomplètement) que la grotte de Pène-Blanque (altitude, 925 mètres). De nouvelles parties y ont été trouvées, qui lui donnent un développement total de 900 mètres, réparti sur plusieurs étages compris entre 945 et 845 mètres. Cette grotte montre clairement comment l'ancienne rivière souterraine qui la parcourait, alimentée par les crevasses ou abîmes supérieurs, a été soutirée en profondeur. On y rencontre en effet, sous terre, un point de dislocation tectonique intense ; et une succession de grandes cassures ou diaclases recoupées par le trajet horizontal des eaux souterraines, indique comment celles-ci ont gagné des niveaux inférieurs, et comment se sont formés les divers étages de grottes.

Plusieurs autres cavités ont été reconnues dans le voisinage de Pène-Blanque. Entre autres le Pount d'Ech-Erbau, abîme profond de 150 mètres au moins, que les chutes de pierres n'ont permis d'explorer que jusqu'à 50 mètres environ.

LES CURIOSITÉS DE L'ARIÈGE. — L'Ariège paraît être une mine inépuisable de curiosités de toutes sortes.

Les abords du fameux Mas-d'Azil montrent les crans de descente successifs de la rivière de l'Arize ; au Portel, près Foix, un meunier a exécuté à l'issue d'une rivière souterraine un serrement qui lui a donné les meilleurs résultats.

Près de Foix aussi, la rivière souterraine de Labouiche s'est révélée comme une très grande curiosité pittoresque, malheureusement d'un accès particulièrement dangereux, et impossible à aménager à cause des crues.

Au point de vue pratique, elle circule à 40 mètres seulement au-dessous de la ligne du chemin de fer de Saint-Girons à Foix, dans une bande de calcaires éocènes très fissurés et très disloqués.

Il y aurait intérêt pour la Compagnie des chemins de fer du Midi à faire faire dans ces parages des travaux de consolidation, et surtout à modifier le régime d'écoulement des eaux dans des points d'absorption, qui communiquent évidemment avec la rivière souterraine et qui ne peuvent qu'accroître les inconvénients de l'érosion et de la corrosion intérieures.

Les grandes cavernes de Niaux, Lombrive, Sabart, Bédéillac, Lherm, depuis longtemps si célèbres en archéologie préhistorique, sont des cavernes mortes, quant à la circulation des eaux souterraines ; leur étude comparative a prouvé la haute antiquité géologique de leur creusement, et elle a fourni de précieux éclaircissements sur les modes d'emmagasinement des eaux de résurgences dans les terrains calcaires.

RÉGION DE BÉLESTA ET FONTSTORBES (Ariège et Aude). — Le secret du mécanisme de la source intermittente de Fontestorbes n'a pas été découvert, bien que, grâce à l'enquête préalable effectuée avec le plus grand soin par M. Maugard, un grand nombre de gouffres et de cavités aient pu être explorés dans les plateaux calcaires de l'Ariège et de l'Aude, dont les infiltrations alimentent Fontestorbes. Certains de ces gouffres atteignent jusqu'à 100 mètres de profondeur et

beaucoup trop reçoivent encore les bêtes mortes que l'on y jette, loin de toute surveillance effective.

Le plus curieux, le Caüigno de los Goffios, aboutit, à 50 mètres sous terre, à une vaste grotte, qui est une merveille naturelle de premier ordre. Elle renferme notamment un véritable monument de stalagmite, haut de 25 à 30 mètres, qui est un des plus grands que l'on connaisse ; l'aménagement de cette cavité serait très facile et peu coûteux à réaliser ; il assurerait la fortune de la commune de Bélesta dans une région fort pittoresque.

PYRÉNÉES-ORIENTALES. — La dernière question étudiée avait pour objet l'utilisation, conformément à la demande de M. Roquet-Lalanne, des sources de la Rigole et de Fontdame, près Salces et Rivesaltes.

On a pu établir nettement que ces sources, qui sortent au niveau de la mer, ont pour aliment principal, non pas comme on le croyait les eaux souterraines des Corbières, provenant des infiltrations, des abîmes et des barrenes d'Opoul à l'ouest, mais une nappe générale d'infiltrations venant sans doute de l'Agly en amont de Rivesaltes.

Le projet, depuis longtemps conçu, d'aller chercher, par un tunnel très coûteux, la soi-disant rivière souterraine d'Opoul, aboutirait à un échec complet. Il faut, au contraire, par de simples tranchées exécutées en amont des sources dans des points très favorables, qui ont été déterminés sur place, recouper à une profondeur très modérée la nappe principale qui alimente les deux sorties d'eau.

CONCLUSION GÉNÉRALE. — « Tels sont, dans leurs grandes

lignes, les principaux résultats des recherches de 1907 à 1909. Elles ont fait connaître que les Pyrénées présentent, avec un développement considérable, le phénomène des gouffres et des absorptions dont on ne savait jusqu'ici à peu près rien. Elles ont révélé plusieurs curiosités naturelles particulièrement remarquables ; enfin, elles ont établi que les problèmes d'utilisation pratique d'eaux souterraines pourront y être étudiés en grand nombre, selon les besoins locaux. C'est à d'autres initiatives privées ou publiques qu'il appartient désormais d'en poursuivre les détails et l'exécution, en se guidant sur les bases fixées par nos exemples.

« Les prévisions sur la fissuration du sous-sol pyrénéen se trouvent formidablement dépassées, dès la première consultation méthodique dont il est l'objet ; déjà on avait formellement constaté que Normandie, Champagne, Lorraine, Bourgogne, Jura, Suisse, Dauphiné, Provence, Languedoc, Rouergue, Périgord, Angoumois, Poitou, sont voués aux terreurs de la disparition ou de la contamination des sources de par le cavernement de leurs sols absorbants.

« De Perpignan à Bayonne aussi, toute la bande calcaire allongée sur les pentes nord des Pyrénées se révèle intensivement victime des mêmes menaces. Pour en conjurer les effets il ne faut épargner ni peines ni dépenses.

« Contre la dessiccation et la pollution, toujours grandissantes, il faut universellement appliquer toutes les énergies et toutes les ressources disponibles, pour la sauvegarde et la récupération déjà bien tardives de cette fuyante sève de toute vie terrestre, l'eau ! »

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

Sur le rôle des ampères-tours longitudinaux au moment de la commutation dans les machines dynamo-électriques à courant continu. Note de M. R. SWYNGEDAÛW, présentée par M. Marcel Deprez, séance du 9 décembre 1912.

Soit un induit de dynamo à courant continu, tournant en génératrice. On sait qu'on appelle ampères-tours longitudinaux, le nombre des ampères-tours contenus dans le double de l'angle de calage.

L'action de ces ampères-tours sur le flux de l'induit est bien connue, mais le rôle qu'ils jouent dans la commutation n'a pas été complètement compris parce qu'on les considérait comme constants.

Supposons qu'il s'agisse d'un induit lisse sur la périphérie duquel les conducteurs sont régulièrement répartis et considérons un balai ne couvrant qu'une lame du collecteur. Désignons par 1 et 2 les lames mises en court circuit par le balai, 2 étant la lame la plus voisine de la ligne neutre.

Considérons l'angle dièdre dont l'arête est l'axe de l'induit, dont l'une des faces est le plan diamétral qui passe par la connexion de la lame 2 avec l'enroulement induit et dont l'autre face est le plan symétrique du précédent par rapport au plan neutre. Le nombre des conducteurs compris entre les faces du dièdre est égal à $2\pi n/c$, n désignant le nombre des conducteurs périphériques portés par l'induit et c le nombre de lames du collecteur, 2π étant le nombre entier ou fractionnaire de sections d'induit compris dans le dièdre.

Comptons le temps à partir de l'instant où la lame 2 va com-

mencer à s'engager sous le balai ; soit T la durée du court circuit. Depuis l'instant $t = 0$ jusqu'à l'instant $t = T$, la section connectée aux lames 1 et 2 est mise en court circuit ; à l'instant $t = 0$ une ligne de force du flux principal rencontre un nombre d'ampères-tours antagonistes égal à :

$$2\gamma \frac{n}{c} i_x + \frac{n}{c} (i_x + j),$$

i_x désignant le courant dans les conduits induits contenus dans l'angle de calage et j le courant dans les conducteurs de la section en court circuit, positivement compté dans le même sens que le premier ; j a la valeur i_x à l'instant $t = 0$.

À l'instant t compris entre zéro et T , la lame 2 est couverte par le balai sur une fraction t/T de sa surface, la section en court circuit s'est éloignée de la ligne neutre de la fraction t/T d'une lame de collecteur et, par suite, l'angle dièdre défini précédemment comprend $2nt/cT$ spires de plus qu'à l'instant $t = 0$, de sorte qu'à l'instant t la ligne de force du flux utile rencontre un nombre d'ampères-tours longitudinaux antagonistes égal à :

$$A = 2\gamma \frac{n}{c} i_x + \frac{n}{c} (i_x + j) + \frac{2nti_x}{cT}.$$

M. Allen et dernièrement M. Mauduit ont signalé certains effets des ampères-tours de court circuit, mais on n'a rien écrit jusqu'ici sur le rôle des ampères-tours $2nti_x/cT$.

Or, d'après des considérations exposées antérieurement, la variation des ampères-tours longitudinaux produit une variation de flux qui leur est proportionnelle ; et l'on peut considérer cette variation de flux comme produite par la superposition au flux principal d'un flux antagoniste se fermant en partie à travers les inducteurs et en partie à travers l'air dans l'espace intermédiaire par, ce que j'ai appelé antérieurement, les fuites à court trajet.