

LE DOSSIER HYDROLOGIQUE
DU RÉGIME AQUIFÈRE EN TERRAINS CALCAIRES
ET LE RÔLE DE LA GÉOLOGIE

DANS LES RECHERCHES ET ÉTUDES DES TRAVAUX D'EAUX ALIMENTAIRES (1)

PAR

E. VAN DEN BROECK

Réponse à la note de M. l'ingénieur Th. Verstraeten

intitulée :

HYDROLOGIE DES ROCHES

NÉCESSITÉ DE PRÉCISER LES SITUATIONS ET LES TERMES

A la séance du 11 mai 1897, consacrée à des questions de *géologie appliquée*, M. l'ingénieur Th. Verstraeten a fait à la *Société belge de géologie*, une communication orale, longuement développée, qui avait été annoncée à l'ordre du jour sous le titre assez anodin : *Hydrologie des calcaires. Nécessité de préciser la situation et les termes.*

Mais l'audition de cet exposé ne correspondait guère aux prévisions qu'aurait pu faire naître le titre ci-dessus rappelé. Le travail de M. Verstraeten s'occupait en effet, avant tout, d'engager avec des

(1) Voir, pour guider la lecture ou les recherches, la **Table détaillée des matières**, qui clôture cet exposé.

confrères géologues, ayant émis des thèses et des idées sensiblement différentes de celles admises par M. Verstraeten, une polémique scientifique passablement vive. M. A. Rutot et moi y étions particulièrement visés au sujet de divers travaux relatifs à l'hydrologie des calcaires, travaux écrits les uns isolément, les autres en collaboration. L'auteur y prenait aussi à partie M. Éd. Dupont, et toute cette polémique était présentée sous une forme et dans des termes dont la vivacité dépassait de beaucoup les usages de la discussion scientifique.

Après avoir exprimé assez nettement, en séance, ma manière de voir et aussi mon étonnement au sujet de ce procédé, et formulé ensuite une courte réponse préalable, j'attendis vainement, après avoir fait appel à l'intervention éventuelle, tout indiquée en l'occurrence, de notre *Comité de rédaction*, j'attendis sans succès, dis-je, le dépôt du texte de mon honorable contradicteur. Faute de ce document, je ne pus donc préparer la réponse détaillée que j'avais en vue et que j'avais d'ailleurs l'intention de maintenir dans un domaine un peu plus « scientifique » que l'exposé de M. Verstraeten.

J'attendais toujours la remise espérée, lorsqu'au commencement de l'année 1898 parut, dans la première livraison du tome XXI des *Annales de l'Association des ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, un mémoire développé de M. Verstraeten, intitulé : *Dissertations hydrologiques : Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck*.

Or ce travail n'était autre chose que la rédaction primitive de la communication faite chez nous le 11 mai 1897, et que l'auteur avait sagement renoncé à présenter tel quel à une Société de géologie. Le changement de titre était à lui seul significatif et dénotait *la véritable portée du travail*, qui consistait, sous le prétexte de « préciser la situation et les termes », à échafauder un véritable réquisitoire, — on verra plus loin combien fragile, — contre des géologues ayant eu l'audace grande d'avoir, sur le régime aquifère des terrains calcaires et sur l'immixtion des géologues en matière de travaux d'hydrologie-appliquée, des convictions autres que celles énoncées par M. l'ingénieur Verstraeten. Je ne veux même pas relever ici les allures fâcheuses de ce travail, qu'une simple lecture faite, sans parti pris, suffisait à classer bien loin des travaux d'ordre scientifique. Les géologues attaqués étaient si certains que tout lecteur impartial et quelque peu au courant du sujet traité ne pouvait manquer d'être rapidement édifié sur la valeur et sur la portée de cette polémique, que personne, parmi eux, ne crut devoir répondre au travail de M. Verstraeten.

D'autres circonstances sont venues, depuis lors, modifier cette situa-

tion, et elles ont été indiquées dans le procès-verbal de la séance du 11 mai 1897.

Par suite d'un fâcheux concours de circonstances, l'ensemble des *Procès-Verbaux* de nos séances de l'année 1897 n'a pu passer à l'impression qu'en décembre 1900. C'est à ce moment seulement que fut remis à la Société le texte d'un exposé de M. Verstraeten, portant à nouveau l'ancien titre du mémoire de 1897 : *Hydrologie des roches. Nécessité de préciser les situations et les termes*, travail qui, imprimé depuis lors, occupe les pages 95 à 114 des *Procès-Verbaux* de 1897. S'il en est ainsi, c'est que ce mémoire n'était, en réalité, qu'une nouvelle édition, qu'une reproduction, mais cette fois assez soigneusement amendée et adoucie, au moins dans la forme, de la *première partie* de la communication de M. Verstraeten du 11 mai 1897, soit du chapitre qui traite, dans une certaine mesure, du désir de l'auteur d'unifier certains termes et de combattre certaines définitions courantes, acceptées et admises par M. Rutot et moi, à l'exemple de bien d'autres géologues et hydrologues de tous pays.

Présenté cette fois-ci sous une forme plus modérée et visant moins les personnalités que le factum inséré, en 1898, dans le recueil gantois, ce travail, malgré le fait, peu correct, de cette publication préventive en dehors de notre *Bulletin*, et l'énorme retard de son dépôt sous une forme acceptable, devait, en conscience, être admis, et il l'a été sans aucune difficulté, et cela la veille même du jour où devait partir pour l'impression l'énorme paquet de manuscrits des *Procès-Verbaux* de 1897 au complet. Dans ces conditions, il m'a naturellement été impossible de préparer une réponse assez à temps pour qu'elle pût paraître, dans le procès-verbal du 11 mai 1897, à la suite de l'exposé de M. Verstraeten, et j'ai dû me borner à annoncer simplement, dans celui-ci (p. 115), la nécessité du transfert, dans les *Mémoires*, de la réponse détaillée que j'ai jugé nécessaire de faire à mon honorable contradicteur.

Des débats personnels de cette nature ne peuvent intéresser les membres de la Société, comme le disait la note succincte fournie dans le Procès-Verbal du 11 mars 1897, à la suite de l'exposé de M. Verstraeten, qu'à la seule condition de satisfaire au dicton bien connu que « du choc des idées jaillit la lumière ».

Tel est, dans ma présente réponse, le but que j'ai cherché à poursuivre avant tout autre.

Certes, j'ai pensé qu'il serait utile de répondre en détail aux nombreux points au sujet desquels mon honorable contradicteur a mal

compris ou inexactement interprété les idées que MM. Dupont, Rutot et moi avons défendues. J'ai aussi cru devoir relever les nombreux cas où M. Verstraeten s'est évertué à transformer une discussion scientifique en de *pures querelles de mots*, d'autant plus qu'il nous adresse, à M. Rutot et à moi, des reproches qui, en réalité, nous laissent parfaitement indemnes. Ces reproches, en effet, ne pourraient atteindre que les maîtres de la Science, les plus éminents, les plus incontestés, que nous avons fidèlement pris pour guide et que M. Verstraeten se permet ainsi de morigéner sans scrupule.

Mais les développements qui vont suivre et le temps que leur lecture nécessitera à mes lecteurs ne me sembleraient guère justifiés si je m'étais borné à l'égoïste satisfaction d'une réponse péremptoire aux attaques de M. Verstraeten. J'ai heureusement pu introduire dans cet exposé, et tout en lui laissant sa forme de discussion scientifique et de réfutation personnelle, un bon nombre de faits nouveaux ou peu connus et d'aperçus synthétiques. J'y ai même trouvé l'occasion de rectifier certaines opinions antérieures émises par M. Rutot et moi, et où la critique de M. Verstraeten a pu, assez exceptionnellement — car le cas ne s'est présenté que deux fois — trouver matière à s'exercer au bénéfice de la vérité scientifique.

Enfin, par les nombreuses citations précises d'auteurs et de spécialistes éminents ayant traité, même tout récemment, des sujets étudiés contradictoirement par M. Verstraeten et par mes collègues géologues et par moi, je pense être arrivé à avoir fourni dans la Réponse qui suit et surtout dans ses Annexes, très développées, un véritable répertoire de définitions et d'opinions de maîtres de la science, tant en géologie qu'en hydrologie, dossier qui ne sera pas sans utilité pour arriver au but indiqué dans le titre du travail, dernière manière, de M. Verstraeten : *Nécessité de préciser les situations et les termes*.

Quoique mon honorable adversaire ait transformé, par la forme très spéciale de son exposé, une pure discussion scientifique en un véritable réquisitoire, je n'ai pas cherché à lui opposer de vaines plaidoiries contradictoires; je me suis contenté, après avoir fourni quelques exemples (trois seulement, que l'on trouve énumérés tout d'abord) de son *mode de polémique*, de réunir, à la suite, les éléments d'un véritable DOSSIER de *l'hydrologie des calcaires*, où chacun pourra puiser, suivant ses convenances. A ce titre donc, je crois justifiée l'étendue donnée au présent exposé, dans l'intérêt scientifique duquel je me suis cru autorisé, eu égard aux circonstances et à mon but d'intérêt général, à profiter de la date (janvier 1901) de la présente rédaction pour emprunter

à de multiples textes, ayant paru depuis mai 1897, des passages et extraits que j'ai cru utile de fournir comme éléments d'appréciation dans le débat.

Je passe maintenant aux trois points que je désire relever tout d'abord :

1° Les critiques de M. Verstraeten, en ce qui me concerne, ne sont pas, comme on pourrait le croire à la lecture de son travail, toutes formulées d'après des textes imprimés ou bien rédigés par moi en vue de la publicité scientifique.

L'étude critique de M. Verstraeten s'adresse, en effet, trop souvent à des *souvenirs* de discussions de séances ou à des énoncés improvisés au cours de controverses, dont M. Verstraeten croit se rappeler les termes (1), et qu'en réalité il eût été bon de ne rencontrer, dans une

(1) C'est ce que l'auteur lui-même avoue fort nettement dans la version primitive de son exposé, publiée dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*. Dans ce recueil, le dit travail est étendu à des dimensions doubles de l'extrait reproduit dans notre *Bulletin*, et se compose de deux parties. La première constitue, mais sous une forme moins adoucie que le texte remanié par l'auteur, l'exposé qu'a fourni M. Verstraeten pour le procès-verbal du 41 mai 1897; la seconde a été rédigée en vue de rencontrer ce que M. Rutot et moi avons exposé sans phrases, mais à coups d'extraits précis, au sujet de l'opinion des maîtres de la science. Mais le but principal de cette seconde partie, non rééditée à la Société belge de géologie, est de combattre ma manière de voir, exprimée dès 1890, sur la façon dont doivent être traitées les études de projets d'alimentation d'eau potable. Il n'est pas étonnant que M. Verstraeten ait renoncé à adjoindre cette seconde partie au texte limité qu'il nous présente aujourd'hui. Cette seconde partie est, plus encore que la première, de la pure polémique, roulant non pas sur les choses, mais *sur les mots*, et l'auteur s'y donne beaucoup de mal pour tenter d'affaiblir la portée de l'imposante série d'extraits, que nous avons si aisément fournis à la séance du 12 novembre 1895, à l'appui de la manière de voir que M. Rutot et moi avons défendue en matière d'hydrologie des régions calcaires. Lorsqu'enfin M. Verstraeten termine cette seconde partie par l'examen critique de la thèse dans laquelle j'ai, en 1890, à propos de l'étude du projet du Hoyoux, exposé comment je comprends la *marche rationnelle* de l'étude d'un projet de distribution d'eau, faut-il s'étonner de le voir n'être pas satisfait de mon exposé d'une thèse qui, attribuant au *géologue* un rôle *scientifique* initial, a pour but d'éviter souvent aux intéressés du temps perdu en études préalables, stériles ou mal conduites, et en recherches parfois inutiles. Cette ingérence du géologue n'est évidemment pas précisément faite pour plaire en principe à certains auteurs ou promoteurs de projets : cela est tout naturel, et il eût été quelque peu naïf de prétendre rallier à ces idées — encore si peu appliquées — les techniciens peu ou point géologues. Que de communes cependant prétendent n'appeler le plus souvent la Géologie à leur aide que lorsqu'il faut en réalité venir à leur secours; c'est-à-dire lorsque beaucoup de travaux et de dépenses ont déjà été effectués, sans tenir compte des éléments *géologiques*, ou *primordiaux*, du problème.

Nous avons, M. Rutot et moi, laissé passer stoïquement ce gros mécontentement,

pareille étude critique, qu'après la mise au point préalable de la rédaction, faite par l'auteur même, des vues que M. Verstraeten combat actuellement d'après ses « souvenirs » de séances.

2° Le reproche, si immérité, que me faisait naguère M. Flamache d'argumenter parfois à côté de la question, serait-il aussi peu justifié, si, le reprenant ici, je l'adressais à M. Verstraeten en ce qui concerne le mode de critique qu'il a employé dans le travail qui précède?

Il est facile de fournir sur cette matière un exemple topique permettant de formuler une première réponse à cette interrogation.

M. Verstraeten nous fait un grief, à M. Rutot et à moi, de n'avoir pas même, dans notre *Étude sur les galeries alimentaires de Liège* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. I, 1887, *Mém.*, p. 242), signalé le nom d'*André Dumont*, notre illustre INITIATEUR, dit-il, de la question des eaux de Liège, lequel, en 1851, fit du bassin du Geer « l'une des plus belles études hydrologiques qui soient ». Cette notice d'André Dumont consiste en quelques brèves pages traçant les grandes lignes de la géologie et de l'hydrologie du bassin du Geer (1) et concluant, pour remédier aux besoins d'eaux alimentaires dont souffrait déjà alors la ville de Liège, au creusement d'une galerie drainante établie dans la craie et dont l'emplacement, la direction et la hauteur furent déterminés par quatre sondages d'étude que fit creuser la Commission technique dont faisait partie l'illustre *André Dumont*, qui en fut naturellement le principal guide géologique et hydrologique.

C'est d'ailleurs la partie scientifique du rapport, due à *André Dumont*, qui fut reprise par lui dans les Bulletins de 1851 de l'Académie de Belgique, où la critique de M. Verstraeten m'en a fait connaître l'existence.

C'est certainement l'exposé initial d'André Dumont qui a, nul n'en peut disconvenir, inspiré à son neveu, M. l'ingénieur *Gustave Dumont*, la superbe thèse d'hydrologie pratique qui fit décider la construction des galeries alimentaires conçues par l'illustre auteur de la carte géologique de la Belgique; mais si la petite note initiale d'André Dumont, perdue,

qui, dans le cas présent, s'est manifesté sous des formes assez vives dans l'exposé publié à Gand par M. Verstraeten. L'avenir est là qui montrera aux communes et administrations intéressées quel est le mode opératoire le plus pratique, le plus rationnel et le moins coûteux : celui que j'ai indiqué en 1890, ou celui que préconise mon honorable contradicteur.

(1) *Note sur une application de la Géologie à la recherche d'eaux souterraines*, par ANDRÉ DUMONT. — BULL. ACAD. ROYALE DES SCIENCES DE BELGIQUE, 1^{re} série, t. XVIII, 1851, pp. 47-53.

noyée dans les innombrables volumes du *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, où elle fut publiée, nous est toutefois, en 1887, restée, comme à bien d'autres, absolument inconnue, la faute en doit surtout être imputée à son neveu *Gustave Dumont*. En effet, dans son grand mémoire historique et descriptif de 1856, ce dernier, *sans citer ni mentionner* UNE SEULE FOIS le nom de son oncle, reproduit cependant, pages 35 et 54 de son exposé, les parties géologiques essentielles de la note d'*André Dumont*, faisant partie intégrante du rapport de la Commission, mais aussi publiée cinq ans auparavant, au nom de leur auteur : *André Dumont*, dans le *Bulletin de l'Académie*.

Quant à l'étude hydrologique d'*André Dumont*, elle est passée sous silence dans l'exposé de son neveu, alors que le premier avait, cependant, avec la conception et la proposition justifiée des galeries drainantes, fourni toute l'économie du système des galeries exécutées.

Dans sa note initiale de 1851, *André Dumont* s'était surtout occupé de ce que devait être la galerie principale, drainante et d'amenée à la fois; il en avait établi le point de départ, la direction, la hauteur et prévoyait l'exécution de galeries drainantes supplémentaires : le tout conformément, dans les grandes lignes, à ce qui fut exécuté plus tard.

De tout cela personne ne pourrait se douter à la lecture du mémoire de *Gustave Dumont* qui, dans son exposé comme dans sa rédaction, donne l'impression absolue que toute l'œuvre des galeries alimentaires aurait été conçue par lui (1) et qui ne laisse pas une seule fois apparaître le nom de son savant oncle et initiateur *André Dumont*, dans tout le cours de son exposé, pas même dans une note ou référence bibliographique au bas d'une page!

L'auteur responsable du FÂCHEUX OUBLI que nous reproche M. Verstraeten envers *André Dumont* est donc son propre disciple et neveu : *Gustave Dumont*, dont le mémoire nous était seul connu en 1887.

On lit, en effet, dès la première page de notre étude sur les galeries : « Le seul travail scientifique publié à notre connaissance sur le point qui nous occupe est le beau rapport préalable présenté en 1856 à la ville de Liège par M. l'ingénieur *Gustave Dumont*, rapport qui élaborait le projet dont l'exécution, décrétée peu de temps après, a valu à l'agglomération liégeoise son alimentation actuelle en eau potable. » Plus loin, dans notre texte, on lit encore : « Ce projet, parfaitement rationnel, a été exécuté tel qu'il avait été exposé par M. *Gustave Dumont*, le savant ingénieur qui l'a conçu et développé dans

(1) Voir le texte de *Gustave Dumont*, p. 40 et surtout p. 46, § 3, § 6; p. 47, etc.

un rapport préalable présenté à l'Administration en 1856 et qui traite la question avec tous les détails qu'elle comporte. *C'est de ce rapport remarquable, intitulé : Des eaux alimentaires de la ville de Liège* (grand in-8° de 109 pages avec 5 planches, publié chez N. Redouté, à Liège), que nous avons extrait une partie des renseignements qui précèdent sur l'ancienne alimentation d'eau de la ville de Liège. »

Si en 1887, en écrivant les lignes qui précèdent, nous avons connu la suggestive note de 1851, d'*André Dumont*, et si nous avons pu constater ainsi que la belle conception du travail appartient à l'oncle et non au neveu, pour quelle raison, ayant si largement rendu justice au disciple, ne nous serions-nous pas empressés de réparer le fâcheux oubli de ce dernier, oubli qui, par un ricochet bien inattendu, nous vaut aujourd'hui l'attaque si peu méritée de M. Verstraeten ?

Sommes-nous les seuls d'ailleurs à avoir été trompés par la manière, peut-être inconsciente, dont Gustave Dumont a laissé dans l'ombre l'important rôle d'initiateur et de précurseur de son savant maître et parent ?

Pour le savoir, consultons par exemple le chapitre I^{er} : *Aperçu historique*, du mémoire récent de M. L. Brouhon, ingénieur du Service des eaux (1), à Liège, travail consacré à l'étude d'un projet de puits régulateur à établir en Hesbaye, comme annexe aux galeries drainantes. Or, dans ce travail, approuvé et édité par le Collège échevinal, l'auteur relate soigneusement tout ce qu'il sait avoir été publié au sujet des galeries alimentaires, y compris le mémoire de *Gustave Dumont* et notre étude, à M. Rutot et moi ; mais d'*André Dumont*, de son rôle et de sa conception initiale, et enfin de sa Note de l'Académie... pas un mot non plus !

Passons maintenant à l'étranger, par conséquent dans un milieu soustrait à toute influence locale pouvant éventuellement égarer le jugement, et voyons, d'après l'avis d'un éminent hydrologue français, quel est celui qui semblait devoir être regardé comme le véritable promoteur et créateur du système d'alimentation en eau potable qui a donné naissance aux galeries de Liège.

Dans son Rapport présenté, en 1897, à la municipalité de la ville de Nancy, sur des recherches de nouvelles eaux de sources, M. le D^r Imbeaux, ingénieur-directeur du Service municipal, dit ceci, page 15 :

Exemple de Liège. — Dès 1851, l'ingénieur des mines GUSTAVE DUMONT conçut l'idée de doter la ville de Liège des eaux captées souterrainement sous le plateau de la

(1) *Ville de Liège. Service des eaux. Régime de la distribution. Projet de puits régulateur à établir en Hesbaye*, par L. Brouhon, ingénieur du Service des eaux. Liège, in-8°, 142 pages, 2 planches, 1898.

Hesbaye qui la domine au nord. Dans un *remarquable rapport* du 18 février 1856, il expose au long son projet et il l'appuie sur une carte hydrographique donnant les courbes de niveau de la surface supérieure de la nappe souterraine. Cette carte démontra ce que la géologie avait fait soupçonner.

De la note d'André Dumont, et de son rôle précurseur, pas un mot... et pour cause : la note initiale d'André Dumont de 1851 et le mémoire de Gustave Dumont de 1856 ayant paru à M. Imbeaux appartenir à une seule et même personne : Gustave Dumont !

Nous sommes décidément, M. Rutot et moi, en trop bonne compagnie dans le camp de ceux qui n'ont pu démêler, faute de référence, dans le mémoire de Gustave Dumont, ce qui revenait réellement à André Dumont, et cette constatation nous permettra de ne guère nous émouvoir de la critique si peu justifiée de M. Verstraeten.

Après ceci, il lui sera encore assez difficile à laisser croire que M. Rutot et moi avons tenté de laisser dans l'ombre les travaux de nos devanciers, consultés par nous, et cet exemple suffira, je pense, pour montrer la légèreté ou le manque d'à-propos des critiques et reproches qui nous sont faits.

En terminant ce qui a rapport à ce point spécial, il convient d'en tirer une moralité assez piquante et qui, cependant, plane plus haut que la réponse topique qui vient d'être faite aux reproches inconsidérés de M. Verstraeten. Ce dernier avait cru pouvoir adresser à deux géologues, fervents admirateurs d'André Dumont, le reproche d'avoir passé sous silence l'origine comme le nom de l'auteur initial de la belle conception des galeries drainantes liégeoises ; il les blâmait d'avoir laissé dans l'ombre l'étude de 1851 du célèbre géologue belge, l'auteur « de la plus belle étude hydrologique qui soit ».

En montrant dans les pages qui précèdent à qui incombe réellement la responsabilité du manque de mise en lumière des titres, très réels, d'André Dumont, nous sommes, du même coup, arrivé à cette conclusion, que c'est donc grâce au précieux concours du GÉOLOGUE André Dumont que l'INGÉNIEUR Gustave Dumont a été mis à même de fournir les éléments scientifiques essentiels de la réalisation ultérieure du beau travail technique de l'établissement des galeries drainantes. Il nous étonnerait fort, à M. Rutot et à moi, que cette constatation soit utilisée par M. Verstraeten pour la défense de sa thèse tendant à écarter la géologie et les géologues de la phase INITIALE d'élaboration et d'études scientifiques des projets d'alimentation en eau potable.

3° Lorsqu'on passe ensuite en revue toute l'argumentation critique de M. Verstraeten, on reconnaît bien vite qu'elle est essentiellement

construite *en façade*, c'est-à-dire basée sur nos manières différentes d'envisager et d'interpréter certaines *expressions techniques, divers mots*. Aussi, dans une certaine mesure, une pareille constatation ne peut que faire approuver l'un des objectifs de M. Verstraeten qui, parallèlement à la discussion un peu personnelle qu'il soulève, cherche assez consciencieusement, me semble-t-il, à faire naître l'accord sur les mots et sur leur interprétation.

Mais ce n'est pas un exposé scientifique que fait en réalité M. Verstraeten ; c'est bel et bien une plaidoirie d'avocat, jonglant, habilement d'ailleurs, avec ces mots qu'il passe successivement en revue dans son étude critique : couche délitée ; soudure des diaclases et joints ; épanouissement de cavités ; « cavernes » prétendument imaginées dans nos craies ; couches aquifères ; nappes aquifères ; *surfaces* et *volumes* et, tour à tour, MM. E. Dupont, A. Rutot et moi nous passons sous le crible linguistico-technique de M. Verstraeten ! Cela tourne parfois au jeu de mot : ainsi quand, avec les auteurs les plus classiques, M. Rutot et moi employons couramment dans le sens de *couche* ou de *réservoir aquifère* l'expression *nappe aquifère* et que nous attribuons à l'eau de notre « nappe » la propriété de s'écouler souterrainement vers le nord dans les régions considérées, — ce qui est absolument exact, — M. Verstraeten trouve un plaisir non dissimulé de magister à nous apprendre qu'une *nappe*, « qui est une surface, n'a point la propriété de s'écouler » ! Est-ce bien vraiment là de la discussion scientifique et espère-t-il, en n'attaquant que nous, faire croire à ses lecteurs que nous sommes les seuls à employer dans un sens toléré et admis, soit *peut-être* conventionnel, des expressions devenues classiques dans la bouche et sous la plume de tous les géologues ? Que M. Verstraeten ait raison, cependant, de s'élever contre l'incorrection de certains termes très généralement employés, soit, je l'admets, et cette tâche est louable autant qu'utile ; mais est-il bien nécessaire de profiter de ces divergences d'interprétation *dans les mots* pour soulever des critiques *paraissant* nous prendre *personnellement* en défaut sur des points où, en réalité, nous sommes *parfaitement d'accord* avec les usages consacrés par les maîtres de la science ?

Une question préalable s'imposait ici, relevant d'un sentiment de modestie qui n'a guère préoccupé M. Verstraeten. En dehors de sa bonne volonté, qui est évidente, et de son but final qui est louable, se croit-il réellement avoir l'autorité *scientifique* nécessaire pour faire la leçon, avec des allures d'une courtoisie discutable, non à ceux qu'il semble avoir voulu seuls atteindre, mais aux maîtres de la science, tels

que les *Daubrée*, les *Gosselet*, les *de Lapparent*, qu'il cingle du même coup de son impitoyable férule? Sa tentative de nous atteindre des bondissements de sa... massue, très éolienne, nous donne la satisfaction, à mon collègue et à moi, de nous trouver assignés devant une barre d'accusation où doivent forcément comparaître, à nos côtés, les hautes autorités scientifiques précitées et bien d'autres encore.

Il ne me suffit pas d'énoncer ce qui précède; je vais le prouver.

Ce qui a surtout et très longuement excité l'ire de M. Verstraeten, c'est l'emploi par nous, dans nos exposés, du mot *nappe* aquifère, pour désigner les *réservoirs* ou les *couches* aquifères. Une grande partie de sa verve caustique s'est, longuement et à de multiples reprises, exercée aux dépens de cette expression ainsi comprise et dont il semblerait, à la manière dont il tente de nous retourner sur le gril, que nous soyons les auteurs responsables, ou les propagateurs irréflechis!

Je me bornerai à dissiper cette légende par le simple exposé des extraits suivants, destinés à remettre nettement les choses en place: et l'on verra alors de quel côté pourront se ranger les rieurs!

Les noms de *nappe d'eau* et de *niveau d'eau* ont donné souvent lieu à des erreurs. Il ne s'agit pas d'une véritable nappe d'eau, qui serait interposée entre des roches solides, mais d'EAU LOGÉE DANS LES INTERSTICES DE ROCHES SOLIDES, dont elle ne représente qu'une faible portion du volume total.

Dans le cas où une telle nappe d'eau imprègne des roches poreuses, telles que les sables et les graviers, elle est en général continue. Il n'en est pas de même quand l'eau n'occupe que des fissures ou des cavités plus ou moins espacées.

Auteur: A. DAUBRÉE, *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*, t. I, Paris, 1887. Voir chapitre II: « Régime des eaux dans les terrains perméables », pp. 18-19.

Plus loin, *Daubrée* donne, parmi les nombreux SYNONYMES, usités à l'étranger, de l'expression *nappe phréatique*, proposée par lui pour désigner la nappe d'eau la plus rapprochée de la surface du sol et qui alimente la plupart des puits, les noms de « *couche* aquifère libre et *nappe* liquide (VERSTRAETEN) », et il est assez réjouissant de voir ici le savant membre de l'Institut de France, le père de l'hydrologie scientifique moderne, se mettre dans le cas de devoir subir avec nous les foudres vengeresses du trop pointilleux ingénieur belge.

Voici maintenant ce que dit l'expérimenté professeur de géologie de la Faculté des sciences de Lille et membre de l'Institut: M. J. Gosselet,

dans la deuxième de ses Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France (1) :

Une *nappe aquifère* est une couche solide, perméable, qui contient de l'eau dans ses interstices. D'une nappe aquifère, il faut considérer la perméabilité de la couche aquifère, le fond de la nappe, ou la couche imperméable qui retient l'eau et enfin l'origine de l'eau.

Il est certain que la pensée de M. Gosselet a été rendue ici d'une manière qui écarte radicalement toute espèce d'assimilation d'une nappe aquifère à une simple surface!

Et, quant au *fond* de cette nappe, comme M. Gosselet appelle avec raison la *base du réservoir aquifère*, combien un tel terme doit être peu fait pour plaire à M. Verstraeten qui, naturellement, ne saurait admettre de *fond* à sa nappe-surface!

Continuons nos citations :

Selon que le sol est plus ou moins perméable, il laisse pénétrer une quantité plus ou moins grande des eaux atmosphériques qui, ou bien *s'amassent* sous les dépôts de sable et de galets en *nappes souterraines*, ou s'enfoncent pour reparaitre au jour sous forme de sources.

Auteur : CREDNER, *Traité de géologie et de paléontologie*, 7^e édition. Traduction, E. Moniez, Paris, 1879, p. 203.

Il est clair que cette accumulation d'eaux, qui s'amassent au sein des dépôts meubles et qui, les baignant, forment les nappes souterraines telles que les entend le professeur Credner, sont bien des *volumes* et non des *surfaces*.

Mais poursuivons l'instructive revue :

Les eaux, en pénétrant dans le sol, finissent par s'y accumuler en donnant naissance à des *nappes d'infiltration*. En effet, à mesure qu'elles s'enfoncent, elles deviennent de moins en moins accessibles à l'évaporation; les *parties de l'écorce situées à une certaine profondeur ne peuvent donc manquer à la longue de se saturer d'eau*, et AINSI se constituent les *nappes souterraines*.

Auteur : A. DE LAPPARENT, *Traité de géologie*, 4^e édition, « Phénomènes actuels ». Chapitre III, § I : « Nappes souterraines et sources », p. 195.

Au bas de la même page, M. de Lapparent signale que la *surface supérieure* de la NAPPE est relevée sous les faîtes de partage, et il dit

(1) Voir *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XIV, 1886-1887, pp. 249-306. — Voir aussi la reproduction de ces leçons dans le tome II (1888) du *Bulletin de la Société belge de géologie*.

aussi que les NAPPES d'infiltration, dans un terrain perméable, ont une surface ondulée, qui reproduit, comme une sorte d'écho affaibli, les accidents extérieurs du sol.

Voici donc les eaux d'infiltration saturant, par leur accumulation, les parties profondes de l'écorce et constituant ainsi les nappes souterraines de M. de Lapparent. Celles-ci sont tellement un *volume* dans la pensée du savant membre de l'Institut, qu'il traite séparément de leur *surface supérieure* pour en décrire l'allure ondulée!

Il en est de même pour M. Paul Choffat, le distingué géologue du Service portugais, et l'un des plus fervents adeptes du rôle utilitaire de la géologie appliquée.

Dans sa récente note (1) : *Les eaux souterraines et les sources, principalement en Portugal*, il commence par énoncer comme conséquence de la variété d'allure des dépôts géologiques, une vérité absolue, qui paraît cependant avoir échappé complètement à M. Verstraeten :

Les roches stratifiées se sont déposées en couches superposées plus ou moins horizontales, puis ont été ployées de différentes façons ; parfois elles présentent de grandes brisures (faïlles) qui interrompent la continuité des couches.

Ces différentes allures entraînent des DIFFÉRENCES CONSIDÉRABLES dans le régime des *eaux souterraines*.

Plus loin, parlant des *nappes* qui imbibent les couches supérieures du sol, il dit :

Ce terme a souvent induit en erreur, en ce sens que l'on s'imagine parfois que les nappes d'eau sont des masses d'eau intercalées entre deux couches de terrains, tandis qu'il ne s'agit que du *remplissage des vides* entre les éléments qui forment le terrain.

Il ajoute :

La *surface inférieure* d'une nappe aquifère dépend naturellement de la forme de la surface de la couche imperméable, et la *surface supérieure* dépend de la composition du terrain.

Cette nappe, qui remplit des vides et qui a deux surfaces : l'une inférieure, l'autre supérieure, est bien un VOLUME, je pense!

Il serait facile de continuer cette revue des définitions des *nappes aquifères* par les maîtres de la géologie, pour montrer que M. Rutot et moi n'avons fait que suivre leur exemple, et que c'est donc bien à tort que notre honorable contradicteur a tenté, *en ne visant que nous*

(1) Extrait du *Zeitschrift für Gewässerkunde*, édité par le Professeur Dr H. Gravelius, de Dresde. Année 1900, fascicule 3, pages 135-152.

seuls, de nous présenter, aux yeux de ses lecteurs, comme d'audacieux ou maladroits novateurs en matière de terminologie hydrologique.

Faisons maintenant une petite incursion dans les travaux des ingénieurs et des hydrologues professionnels.

Dans ses *Études hydrologiques et géologiques*, consacrées au bassin de la Meuse (1), publiées en 1891, M. l'ingénieur J.-A. Pierrot dit, pages 58-59 :

Les eaux absorbées par les terrains perméables descendent dans le sol et finissent par rencontrer une couche de terrain imperméable; elles s'accumulent et forment une *nappe aquifère* souterraine...

La nappe aquifère, en augmentant d'épaisseur, finit par atteindre le fond des vallées et par donner naissance à de nombreuses sources.

Lorsque le volume d'eau qui pénètre dans le terrain perméable est plus grand que le débit des sources, ce qui arrive aux périodes pluvieuses, la hauteur de la nappe aquifère augmente et les points d'émergence des sources remontent le long du thalweg.

Si, au contraire, le débit des sources dépasse le volume d'eau amené par infiltration, la *nappe aquifère diminue d'épaisseur*, etc.

Je me contente, pour tout commentaire, de souligner simplement, dans ces extraits, les mots démontrant qu'aux yeux de M. l'ingénieur Pierrot, les nappes aquifères sont bien des *volumes* et non des *surfaces*. A la surface d'une nappe, le même auteur réserve d'ailleurs le nom de *niveau d'eau*.

Dans son superbe mémoire : *Les eaux potables et leur rôle hygiénique dans le Département de Meurthe-et-Moselle*, M. le Dr Ed. Imbeaux (2), ingénieur des Ponts et Chaussées, qui a la haute direction du Service municipal de Nancy, expose comme suit (page 5 de son chapitre I : Origine des eaux potables. Mode de formation des nappes et des sources) comment se constitue une nappe aquifère :

La portion de la pluie qui s'infiltré dans le sol, après avoir imbibé d'abord la couche de terre arable, descend peu à peu au travers des étages géologiques assez poreux pour la laisser passer, jusqu'à ce que, rencontrant une couche compacte et imperméable, cette eau se collecte au-dessus d'elle et forme une réserve souterraine dans les pores du terrain perméable immédiatement sus-jacent.

Dans une note sur les serrements et leur fonctionnement, publiée,

(1) *Bassin de la Meuse. Études hydrologiques et géologiques et considérations diverses relatives à la formation et à l'annonce des crues et à l'utilisation des eaux du bassin*, par J.-A. PIERROT, ingénieur des Ponts et Chaussées. Gand, Ad. Hoste, 1891, un volume in-8°, 160 pages, 7 planches et cartes.

(2) Un volume grand in-8° de 227 pages de texte accompagné d'un atlas in-4°, de 9 tableaux et de 12 planches, publié à Nancy, en 1897.

en 1897, par M. l'ingénieur des mines *Villain*, comme annexe au Rapport de M. Imbeaux sur un avant-projet de captation souterraine de la forêt de Haye (1), nous trouvons encore cette autre définition de la *nappe* (voir page 45 du Rapport Imbeaux : Note de M. Villain) :

Une nappe souterraine est produite par l'*accumulation*, au-dessus d'une assise imperméable, des eaux d'infiltration de la surface. Les sources sont les trop-pleins des nappes.

Page 46 : Toute la portion des eaux contenue dans la nappe minima (la nappe d'étiage) constitue, d'après ce qui précède, une *réserve* sur laquelle on peut compter en tout temps.

Page 17 : L'exécution d'une galerie *dans le sein* de la nappe détermine, évidemment, un trouble profond dans la circulation souterraine...

... Examinons d'abord ce qui se passe quand *on creuse une galerie* dans l'intérieur d'une nappe...

Page 49 : La galerie complètement *immergée* dans la nappe primitive ainsi reconstituée.

Faut-il demander, après ces divers extraits, si, pour M. Villain comme pour M. Imbeaux, la nappe est un *volume* ou une *surface*?

Dans les magistrales leçons d'Hydraulique agricole et de Génie rural, professées à l'École des Ponts et Chaussées de France par feu M. A. Durand-Claye et rédigées par M. Félix Launay, également ingénieur des Ponts et Chaussées (2), on lit, dans le chapitre III : Infiltration et ruissellement, que les nappes aquifères caractérisent surtout les terrains perméables, et l'auteur ajoute (page 279) que

des terrains peuvent être perméables de deux manières distinctes : où bien ils sont homogènes et perméables dans toute leur masse, comme les terrains sableux et caillouteux, et alors *la nappe* s'étend sans interruption *à travers la masse du terrain* au-dessus des couches imperméables, elle est dite *continue*; ou bien ils sont fissurés, coupés de crevasses irrégulières, comme les terrains calcaires : craie, calcaire grossier, calcaire oolithique, et alors l'eau se divise en filets distincts, *coulant* dans les failles, les fissures et les lits de stratification; la nappe est *discontinue et irrégulière*.

Parmi les volumes le plus récemment parus de l'*Encyclopédie scientifique des Aides-mémoire* (section de l'ingénieur), publiée à Paris, sous la direction de M. Léauté, de l'Institut, on peut citer enfin le très intéressant volume consacré par M. Henri Boursault à la *Recherche des eaux potables et industrielles*.

(1) *Ville de Nancy Recherches de nouvelles eaux de source. Avant-projet de captation des eaux souterraines de la Forêt de Haye.* Rapport de M. Imbeaux, ingénieur-directeur du Service municipal. Nancy, 1897, in-8°, 51 pages, 7 planches et 1 carte.

(2) *Hydraulique agricole et génie rural.* Leçons professées à l'école des Ponts et Chaussées, par A. DURAND-CLAYE ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et rédigées par Félix Launay, ingénieur des Ponts et Chaussées. Tome 1^{er}. Paris, Oct. Doin, 1890.

Dans son chapitre II : Eaux souterraines, etc., l'auteur dit, page 37 :

Envisageons ce qui se passe dans les parties libres d'un terrain perméable. Soit (et l'auteur renvoie ici à sa figure 1) un ensemble perméable au-dessus d'une couche imperméable. L'eau d'infiltration descend librement et remplit à la base toutes les cavités du terrain, au-dessus de cette couche; elle s'élève tant que l'alimentation continue et que les points d'écoulement que représentent les sources ne sont pas atteints dans les vallées; elle dépasse ensuite ces niveaux, etc... Il existe ainsi un certain niveau au-dessous duquel il n'y a plus, dans la zone perméable, une seule fissure ou cavité, grande ou petite, qui ne soit remplie d'eau... *L'ensemble de la masse d'eau* comprise dans ces limites constitue une *nappe*, et la surface plus ou moins régulière passant par les points supérieurs atteints par l'eau dans toutes les cavités, est la *surface hydrostatique* de la nappe... Cette définition générale des *nappes* doit s'appliquer à toutes les masses d'eau circulant dans un ensemble de cavités souterraines ayant entre elles des communications constantes.

Voici donc le plus récent manuel classique, devant servir de guide et d'aide-mémoire aux *ingénieurs*, qui leur enseigne nettement, en conformité d'avis avec les éminents géologues et hydrologues tantôt passés en revue, qu'il faut continuer à utiliser le mot *nappe*, « CLASSIQUE pour les eaux souterraines », dit l'auteur, bien que ce mot ne pourrait, *strictement*, s'appliquer qu'aux masses liquides superficielles, ou à celles circulant dans les canaux à large section. Mais à cette expression de *nappe*, l'auteur, comme *tout le monde*, — M. Verstraeten excepté, — attribue l'idée rationnelle de *volume* et non celle de *surface* (1).

Je pourrais continuer longtemps ainsi et passer en revue de multiples travaux dus à d'éminents ingénieurs et hydrologues, étrangers et belges, tels que M. Léon Janet, de l'École des mines de Paris; M. le professeur C. Blas, de l'Université de Louvain, et bien d'autres, dont les conceptions de la *nappe* aquifère sont toutes en relation avec l'accumula-

(1) Il est un point sur lequel M. H. Boursault se sépare de l'avis exprimé par M. Daubrée et défendu aussi par Martel, et je ne puis que me ranger à l'avis de l'auteur. C'est que le mot *nappe* doit pouvoir rester appliqué aussi bien aux masses liquides remplissant les fentes, diaclases et canaux des *roches fissurées* qu'aux masses liquides imprégnant uniformément la masse perméable des *dépôts meubles*. La question de différence d'état : statique ou dynamique, de ces deux types de réservoirs aquifères est loin, comme paraît l'admettre M. Martel, de constituer un facteur différentiel *constant* et *absolu*. Dans certains cas, comme celui de la région *inférieure* des réservoirs calcaires de bassins en fuseaux ou en cuvette, isolés et enchâssés de toutes parts dans un massif rocheux imperméable (schisteux par exemple), aucun écoulement n'est plus possible sous le niveau des thalwegs. Ce sont alors de véritables nappes, ou plutôt des *masses* ou *réservoirs aquifères*, sans mouvement circulatoire sensible, qui remplissent le *fond* de ces bassins. De plus, comme le fait justement remarquer M. Boursault, en matière de terrains fissurés, on passe graduellement des canaux microscopiques aux plus larges fractures, et la distinction devient souvent difficile.

tion, le *volume* des eaux souterraines, et non avec le niveau de leur surface libre ou piézométrique.

Mais voici le bouquet qui viendra clôturer nos citations :

Nous n'avons pas même à nous défendre, en réalité, M. Rutot et moi, dans l'usage courant que nous faisons, à l'exemple des éminents géologues, ingénieurs et hydrologues précités, de l'emploi du mot *nappe aquifère*, pris dans le sens de *volume d'eau*, car TEL est bien aussi le sens donné à l'usage vulgaire des expressions : *nappe d'eau*, *nappe aquifère* par les hommes de lettres eux-mêmes.

Consultons en effet la petite édition du Dictionnaire de Littré, par Beaujean, livre qui est appelé à servir de *guide courant* à tout le monde. Nous y voyons, page 42 : *Nappe* = *Masse* d'eau étendue sous des couches de terrains plus ou moins épaisses. Précisons maintenant, à l'aide du *Grand Dictionnaire de Littré*, destiné à fixer le détail des choses. Nous y trouvons, page 688, les deux acceptions également admises : après *Nappe d'eau*, = le niveau général des eaux d'un canton, nous lisons : *Nappe* se dit aussi de la *masse d'eau* étendue sous des couches de terrains plus ou moins épaisses, et à laquelle on donne issue par des puits artésiens ou autres.

Nous pouvons, après ceci, tirer l'échelle; mais il ne sera pas sans intérêt de rechercher de qui M. Verstraeten aurait bien pu s'inspirer quand il est tombé à bras raccourcis sur cette expression de *nappe aquifère* prise dans le sens de *réservoir* ou de *couche aquifère*, si généralement adopté par les géologues. Et alors on arrive bientôt à se rappeler les réflexions émises par M. E.-A. Martel qui, dans le chapitre XXX, intitulé : Les eaux souterraines, de son beau livre : *Les Abîmes*, dit, page 533, que le terme *niveau d'eau* est très satisfaisant, mais que celui de *nappe* ne l'est pas, prêtant à une équivoque qui, d'ailleurs, dit-il (note 3 de la page 533), n'a guère réellement existé que dans la première moitié du siècle. Après avoir donné cependant deux exemples de ces inconvénients, fournis par des phrases de Belgrand, M. Martel dit : « Hâtons-nous d'ajouter que cet usage un peu trop général du mot *nappe* n'empêche nullement les géologues qui l'emploient de croire à l'existence de vrais courants dans les terrains fissurés.

Que veut dire ceci? C'est que, d'après M. Martel, le mot *nappe* n'est nullement condamnable parce qu'il s'applique à un volume, au lieu d'indiquer uniquement, comme le voudrait M. Verstraeten, la surface supérieure de ce volume d'eau. Il ne l'est que parce que M. Martel voudrait voir appliquer exclusivement le mot *nappe* aux eaux dites continues ou d'imprégnation générale et non en mouvement rapide,

qui imbibent les dépôts meubles, ou terrains de transport, tandis que le savant spéléologue voudrait voir affecter une autre expression aux eaux, plus nettement discontinues et localisées, qui constituent les réservoirs aquifères, animés de mouvements d'écoulement généralement plus rapides, qui alimentent les sources des massifs rocheux, perméables seulement par leurs fentes.

Mais c'est là une distinction absolument repoussée à son tour par M. Verstraeten, qui cherche, bien inutilement d'ailleurs, à unifier systématiquement le régime hydrologique, si rarement assimilable, de ces deux types de terrains et de réservoirs aquifères.

En définitive, dit M. Martel (*loc. cit.*, p. 535), sans bannir le terme *nappe*, il importe de ne pas le généraliser et de lui substituer, en théorie, celui de *niveau d'eau*. En définitive aussi, pouvons-nous ajouter, si un hydrologiste et spéléologue de l'expérience et de la haute compétence de M. Martel a trouvé avec raison, et bien avant M. Verstraeten, l'emploi du mot *nappe* peu recommandable, ce n'est nullement pour les raisons de pure forme et toutes conventionnelles qui, en matière hydrologique, doivent nous y faire voir un *volume* plutôt qu'une *surface*, mais pour une raison de *différenciation d'état statique ou dynamique de l'eau*. Enfin, M. Martel a loyalement reconnu que, malgré les acceptions diverses données au mot *nappe*, les géologues savent parfaitement apprécier *dans quel sens* il se trouve employé;.... ce qu'il fallait démontrer!

Ce qui découle encore des éléments d'appréciation qui précèdent, c'est que M. Verstraeten n'était nullement au courant d'une situation dont il lui a plu de nous rendre responsables, M. Rutot et moi, n'y trouvant qu'une occasion de remplacer, par ses peu recommandables procédés de discussion, les arguments vraiment scientifiques qui lui MANQUENT contre deux géologues qui, à ses yeux, ont eu l'audace grande de mettre trop vivement en lumière le rôle prépondérant de la *géologie* en matière de base scientifique de l'*hydrologie appliquée*.

Nous venons de montrer, par des citations topiques, ce que valent ces querelles de mots, si opiniâtrément dirigées contre nous. Voyons maintenant si, dans l'étude des questions de fond, M. Verstraeten a été plus heureux.

Il ne l'a assurément pas été dans la série des quinze questions, plutôt étranges, dont l'auteur fait suivre l'exposé, qu'il montre n'avoir *aucunement compris*, de ce qu'il appelle notre *conception hydrologique nouvelle*. Je veux parler des quelques lignes que M. Rutot et moi avons, dans la séance du 12 novembre 1895, consacrées au régime aquifère et à son « dispositif circulatoire localisé », dans les massifs calcaires.

La preuve que M. Verstraeten n'a pas du tout saisi le sens de ce qu'il s'efforce de démolir, c'est sa figure 7, qui a la prétention de vouloir représenter schématiquement le régime hydrologique des calcaires en fond de bateau du type du Bocq et du Hoyoux, selon notre argumentation à M. Rutot et à moi ! Cette figure étrange n'a aucun rapport, je m'empresse de le déclarer ici, avec la réalité des faits, non plus qu'avec la synthèse graphique *rationnelle* de notre exposé du 12 novembre, présenté par M. Verstraeten comme une « conception hydrologique nouvelle », alors qu'elle rend simplement compte de ce qui existe dans la nature. Point n'est difficile, dans ces conditions, de laisser croire au lecteur bienveillant ou incompétent que nos vues sont erronées, et, je le répète, nous sortons ici du domaine et des procédés ordinaires de la discussion scientifique.

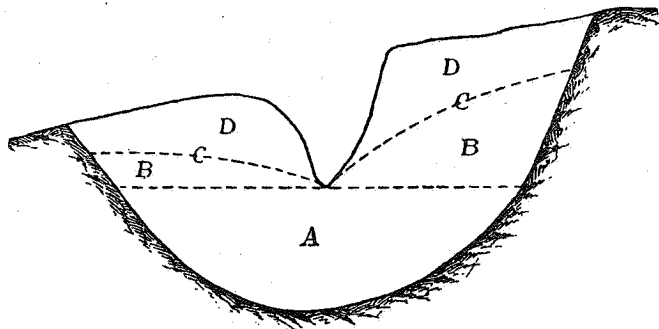


Fig. 4 — Reproduction de la figure 8 de la Note de M. Verstraeten.

Si, en ce qui concerne la représentation schématique du système aquifère des calcaires *en fond de bateau* de la région du Bocq et du Hoyoux, M. Verstraeten, au lieu de s'évertuer à construire la charade graphique représentée par sa figure 7 et par son étonnante légende, avait lu attentivement, et sans parti pris surtout, ce qu'il appelle « notre conception hydrologique nouvelle », il aurait pu s'assurer qu'il ne fallait guère de modification et seulement une légère *ajoute* aux éléments de sa figure 8, que nous reproduisons ci-dessus, pour donner le schéma exact de notre « conception ». Dans la figure ici reproduite d'après M. Verstraeten, toute la partie A et BB, CC — celle-ci un peu trop remontante peut-être sur les flancs de la cuvette imperméable quartzo-schisteuse limitant le bassin calcaire — représente la masse rocheuse plus ou moins fissurée, baignée par les eaux du *réservoir aquifère*, dont la partie sous-jacente au thalweg, coïncidant avec la ligne pointillée horizontale de sa figure 8, constitue ce que nous appelons — avec une légère

licence grammaticale si l'on veut — le régime statique, sous-jacent à celui, DD, des eaux en mouvement, que nous avons distingué plus haut dans le massif.

Quant à la partie BB du réservoir aquifère, comprise entre la ligne horizontale, ou du thalweg, et la ligne de niveau aquifère variable CC et qui constitue ce que nous appelions le *trop-plein* du niveau statique inférieur, elle oscille, tout comme oscille la partie supérieure des réservoirs aquifères en terrains meubles.

Ce phénomène s'effectue ici sous la double influence du *soutirement* causé par les sources d'aval de la région du thalweg considéré et de l'*apport variable et irrégulier* : 1° des *chutes pluviales* tombant sur la cuvette calcaire, ainsi que des *condensations atmosphériques*, dont le rôle nourricier aquifère au sein de la terre reste à étudier ; 2° du *ruissellement* amené par le sol imperméable des collines et hauteurs quartzschisteuses bordant d'un bourrelet *continu* les dites cuvettes ; 3° parfois de l'*apport circulatoire souterrain* qui peut, régionalement, résulter du facteur de « l'empiétement des calcaires » réunissant sous terre les eaux de bassins superficiels distincts ; 4° de la mise en jeu temporaire, pendant les périodes pluvieuses ou de fonte des neiges, de l'appareil du régime *circulatoire localisé*. Celui-ci, dans la figure ci-dessus, serait représenté, en DD, par le réseau, tour à tour à sec ou en fonctionnement, des veines liquides descendant de la surface et des plateaux de la cuvette, tout le long des joints et des lithoclasses divisant le massif calcaire.

Les orifices supérieurs des conduites de ce régime circulatoire localisé sont constitués par les fentes non bouchées de la zone délitée du calcaire, par les aiguilleois de plateau, par les grandes diaclases, failles et fractures, susceptibles de recevoir, d'engouffrer et de conduire *localement* les eaux, qui y circulent seulement à certains moments. Les orifices inférieurs de ce régime circulatoire localisé se déversent, soit directement à la surface CC du réservoir BB, soit à la surface du sol dans le creux du vallon calcaire. Ces apports localisés du régime supérieur ou bien grossissent les sources ordinaires alimentées par BB et les *troublent souvent alors dans leur limpidité, en POUVANT les altérer dans leurs qualités*, ou bien en font naître d'autres, qui apparaissent alors, comme *sources temporaires*, comme suintements ou infiltrations diverses.

Dans la zone statique inférieure A, comme dans sa partie supérieure de BB à CC, ou de fluctuation saisonnière ou périodique, ce que nous appelions le *trop-plein* du niveau statique inférieur, toutes les cavités, fentes, etc., du réseau circulatoire, sous-jacentes au niveau CC, sont *constamment* remplies d'eau ; dans la partie D par contraste, *certain*s conduits d'élection sont *seuls* choisis et utilisés par les eaux de ruissel-

lement et d'infiltration, et ce n'est que *temporairement* que la plupart de ces conduits localisés *deviennent* aquifères : en temps de fonte des neiges, d'orages, de pluie torrentielle, etc.

Tel est aussi le motif qui nous a fait, à M. Rutot et à moi, adopter, pour représenter l'ensemble des canaux, fentes, conduits et lithoclasses de la zone calcaire supérieure DD, l'expression de *régime circulatoire localisé*. Nous eussions pu l'appeler aussi bien *régime circulatoire temporaire*. Si nous ne l'avons pas fait, c'est parce qu'il est incontestable que *certain*s de ces conduits localisés de la région DD peuvent *en tous temps* amener des eaux, soit provenant par exemple de l'engouffrement d'un ruisseau permanent dans un aiguigeois de plateau, soit provenant de la décharge du niveau aquifère souterrain d'un lointain massif calcaire ayant trouvé à se déverser dans le bassin considéré, et cela par la voie de ces communications à grande distance qui sont si fréquentes dans les roches calcaires et qui donnent souvent naissance aux sources dites « vaclusiennes ».

Tel est le développement rationnel de l'exposé de *douze lignes* que M. Rutot et moi avons fait le 12 novembre 1895 sous forme de ce que M. Verstraeten appelle notre *conception hydrologique nouvelle*. En réalité, cette prétendue conception inédite s'adapte fort nettement, on le voit, au diagramme dit « rectificatif » de la figure 8, reproduite ci-dessus, de notre contradicteur, et n'a aucun rapport avec les bizarres tracés et la pittoresque et incompréhensible légende, dont M. Verstraeten, dans sa figure 7, veut nous infliger la conception.

Ce qui *manque* en réalité dans la région D du croquis schématique de M. Verstraeten, c'est la figuration de cas, souvent fort multiples, qui se trouvent représentés par un exemple dans le croquis ci-après de M. le professeur X. Stainier (1), croquis qui lui sert à exposer une autre donnée : celle du remplissage graduel, à l'époque actuelle, des canaux et fissures qui donnent passage aux eaux courantes superficielles en région calcaire et les décantent mécaniquement pour les amener, plus ou moins clarifiées, aux sources du bas des vallées rocheuses calcaires.

Voici cette figure, dans laquelle les hauteurs en collines CC bordant des bassins calcaires BA AB sont constituées, comme c'est si généralement le cas en Belgique, par du terrain quartzo-schisteux : schistes et psammites, peu ou point perméables, enchâssant de toutes parts le massif calcaire de la région centrale considérée. Les joints de dispa-

(1) X. STAINIER, *De la formation des cavernes*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOLOGIE, t. XI, 1897. Mém. pp. 251-272.)

rition et d'engouffrement d'eaux superficielles, qui se présentent très généralement sous forme d'aiguieois, sont localisés presque toujours aux lignes de contact BB des deux formations. Ce sont là les amorces extérieures, les orifices supérieurs des canaux aquifères, soit constants, soit temporaires (représentés en noir accentué sur la figure), du *réseau circulatoire localisé* fournissant ou alimentant soit une partie des sources du thalweg, soit les niveaux supérieurs de déversement aquifère dans la vallée, et c'est l'adjonction de ce dispositif, *si curieusement méconnu par M. Verstraeten*, qui complète, dans le cas considéré des bassins du Hoyoux, du Bocq, etc., le régime aquifère de ces massifs calcaires.

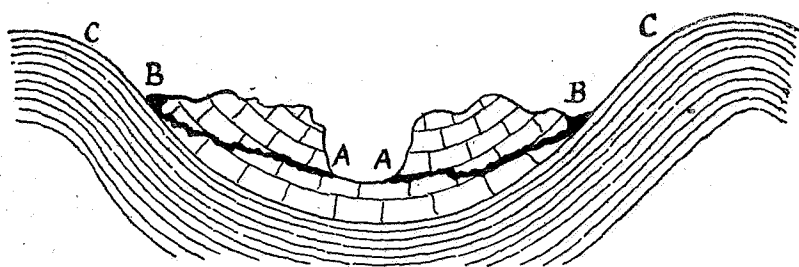


FIG. 2. — Reproduction d'une figure de M. X. Stainier (1).

J'espère que notre honorable contradicteur comprendra enfin pourquoi sont si peu justifiées les quinze dernières questions qu'il aligne à la suite de sa non-compréhension de notre « *conception hydrologique nouvelle* ». Il a pu voir maintenant que celle-ci n'est en réalité que la *mise au point, complétée, réelle et conforme aux données fournies par l'observation de la nature*, de son interprétation à lui, synthétisée par sa figure 8, ici reproduite page 396.

Un point accessoire cependant pourrait peut-être réclamer une certaine rectification de notre part. C'est qu'il n'est pas toujours exact, en effet — sauf en ce qui concerne les déversements supérieurs, quand il y en a — de dire comme nous l'avons fait, que les sources des vallées calcaires sont *plus généralement* en rapport avec les eaux supérieures du régime circulatoire localisé DD qu'avec celles du trop-plein BB, du régime statique sous-jacent au thalweg.

(1) Cette figure ne comprend pas d'équivalent à la *zone aquifère inférieure statique A* représentée dans la figure 1; il suffit, pour s'opposer à la formation de cette zone A, d'un certain degré de compacité et du manque de fissuration, en profondeur, du massif calcaire, lequel alors voit son régime aquifère borné au seul *réseau circulatoire localisé BA AB*, que représente la figure ci-dessus. C'est d'ailleurs le cas le *plus universellement répandu*, quoi qu'en puisse dire M. Verstraeten.

Nous l'entendions surtout ainsi parce que l'absence de véritable état statique de la zone BB (fig. 1), qui alimente la grande majorité des sources, nous portait à rattacher, dans une certaine mesure, cette zone de trop-plein BB au système circulatoire supérieur. Et, en fait, il en devient bien ainsi, dans les niveaux supérieurs asséchés de BB, en saison ou en période d'étiage souterrain. Nous reconnaissons toutefois préférable de n'englober dans notre système circulatoire localisé que les seuls canaux aquifères, généralement intermittents, de la zone DD, et qui ne produisent souvent que des sources *temporaires*. S'ils donnent parfois lieu, dans des cas déterminés (fig. 2), à quelques sources *permanentes*, nous avons toujours été d'accord, avec M. Verstraeten, sur ce fait que bien des sources doivent être alimentées, dans le cas de ces types de bassins calcaires isolés, par la partie oscillante BB du réservoir aquifère, soit par ce que nous appelions le « trop-plein du niveau statique inférieur ».

C'est d'ailleurs précisément aussi ce que disait, en novembre 1895, l'exposé de notre « conception hydrologique nouvelle » qui se terminait par ces mots : « Bien entendu, le trop-plein de ce niveau statique inférieur peut cependant alimenter les sources dans le fond des vallées. »

N'est-il pas plaisant autant que suggestif de constater sur quelles pointes d'aiguilles M. Verstraeten se plaît à équilibrer ses critiques ? Et avec de tels points de départ, à quelles grosses conséquences n'arrive-t-il pas cependant ?

Déjà l'on savait qu'avec deux lignes de l'écriture d'un homme on arrivait naguère à le faire pendre. M. Verstraeten voudrait bien perpétuer ces traditions sous une autre forme. S'emparant de *douze lignes* dans lesquelles deux géologues ont sommairement exposé des vues scientifiques très normales, il les désagrège en matériaux lui servant à construire un édifice qu'il appelle pompeusement « *l'exposé de leur conception hydrologique nouvelle* », édifice sous les ruines duquel il comptait bien écraser ses victimes si, préalablement, ne s'étaient écroulées sur lui-même les fragiles hypothèses édifiées par lui dans les quatre pages fantaisistes de son texte consacrées à cet objet.

On le voit, qu'il s'agisse de questions de *forme*, c'est-à-dire de *mots* ou de questions de *fond*, c'est-à-dire de *thèse scientifique*, le PROCÉDÉ de critique reste le même, et il ne me déplait pas de le mettre une bonne fois nettement en lumière.

Mais soyons généreux et, laissant de côté ces polémiques stériles autant qu'encombrantes, bornons-nous à dire que ce qui rend l'effort

de M. Verstraeten méritoire, malgré le moyen employé, c'est qu'il est assurément préférable que tout le monde soit d'accord sur les termes techniques à employer et sur la signification précise à leur donner. Il y a lieu de reconnaître aussi que certains *termes* d'hydrologie employés par les géologues, en général, de même que par d'autres hommes de science, manquent peut-être de correction si l'on s'en tient, non à un sens connu et très généralement adopté par eux, mais *au sens strict des mots*, et certainement nous ne serons pas les derniers à accepter une terminologie correcte et rationnelle. Mais avant de rien adopter, il conviendrait d'entendre encore d'autres arbitres que notre honorable contradicteur, puisque les savants spécialistes cités tantôt sont loin de penser sur ces définitions et sur ces points de terminologie comme M. Verstraeten; et qui alors a raison?

Ce qui est certain aussi, c'est que dans l'état actuel de la question, il n'y avait nullement lieu de tenter de rendre victimes de ces pures querelles de mots, des collègues qui ont suivi simplement l'usage des maîtres de la science et qui, nonobstant l'emploi de termes plus ou moins contestables dans leur signification conventionnelle, mais universellement reçue, ont l'habitude de se faire comprendre de tout le monde.

Au point de vue du fond, il est un élément sur lequel je reste nettement en désaccord avec M. Verstraeten; point qu'il a exposé dans sa communication orale du 11 mai 1897, beaucoup plus longuement et plus explicitement que dans sa rédaction d'aujourd'hui, destinée au procès-verbal de ladite séance. J'avais naguère expliqué, par le principe justifié des *empiètements* de bassins hydrographiques *souterrains* dans les régions calcaires, les débits parfois énormes signalés pour certaines sources dont la production paraissait devoir dépasser notablement ce que pouvaient faire prévoir les dimensions du bassin hydrographique *superficiel*. M. Verstraeten nous déclare que les affirmations émises au sujet de ces débits extraordinaires, par une ancienne Commission technique, sont controuvées, et il en tire, comme conséquence l'inanité de ma thèse sur le rôle important de l'*empiètement des bassins souterrains* relativement aux débits de certaines sources, calculés d'après les dimensions du bassin hydrographique superficiel, dans lesdites régions calcaires. M. Verstraeten, dans sa communication orale du 11 mai 1897, renouvelant ce qu'il nous avait déjà dit en avril et en décembre 1894, a tenté de montrer que s'il y a parfois un peu d'empiètement souterrain, il y a des compensations réciproques; ce qui est loin

d'être toujours le cas. Il a encore ajouté que de pareils faits d'empiétement se constatent *aussi* dans la région des dépôts meubles et perméables de la moyenne et de la basse Belgique.

Tout cela a déjà été relevé par moi à notre séance du 11 décembre 1894 (1) et à la réponse qu'a cru pouvoir faire à mon argumentation M. Verstraeten, j'ai opposé des raisons de *fait*, aisément contrôlables et qui ont montré combien se justifie, au moins pour le cas considéré, ma thèse de l'empiétement des réservoirs souterrains calcaires.

Or, je persiste à déclarer, et j'y reviendrai quelque jour avec détails et preuves à l'appui, que ces empiétements aquifères souterrains *doivent* être *très fréquents* et d'importance *parfois considérable*, surtout dans des régions calcaires qui, comme dans l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Condroz, sont constituées par *de longs et étroits bassins calcaires* à substratum schisteux imperméable, traversant *souterrainement* des régions appartenant superficiellement à des bassins hydrographiques différents. Si de tels empiétements existent aussi dans nos régions à dépôts meubles, ils n'y ont guère d'effet *sur le débit des sources extérieures* (2), alors que dans nos régions calcaires les sources peuvent, au contraire, être *parfois fortement influencées* par ces phénomènes de communication aqueuse souterraine à grande distance.

Si, dans le cas particulier rappelé par M. Verstraeten, l'afflux des sources jugées comme peu en rapport avec les ressources du bassin hydrographique superficiel a été indiqué comme plus élevé qu'il n'est réellement, il n'y a là — comme je le disais à ce sujet dans ma note du 11 décembre 1894 — qu'une correction de *chiffres* et non de *principe* à faire à ma précédente communication. Il ne me sera pas difficile, j'en ai la ferme confiance, d'être à même, quelque jour, de démontrer que le principe de l'empiétement aquifère et circulatoire souterrain peut acquérir, dans les régions calcaires, une *importance pratique* considérable, et peut servir à expliquer, en matière de *venue d'eau dans les mines*, comme dans le *débit de certaines sources*, bien des phénomènes que ne pourrait faire comprendre aucun autre facteur de la géologie ou de l'hydrologie de ces régions, dont certainement la structure géologique et le dispositif aquifère et circulatoire paraissent bien loin — témoin ses diverses figures schématiques — d'avoir été nettement compris et exactement interprétés par mon honorable contradicteur.

(1) E. VAN DEN BROECK, *Quelques mots au sujet de la différence d'étendue des bassins hydrographiques souterrain et superficiel alimentant les sources de la vallée du Hoyoux.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL. ETC., t. VIII, 1894, Pr.-Verb., pp. 241-247.)

(2) Par opposition à leur action sur le débit des « sources » internes, soit des puits artésiens et autres, de la moyenne et de la basse Belgique.

NOTES SUR LE RÉGIME AQUIFÈRE DES TERRAINS CALCAIRES.

ANNEXE A MA RÉPONSE A M. VERSTRAETEN.

En rédigeant rapidement une première version de ma réponse à M. Verstraeten, je n'avais pas cru, pressé par les nécessités d'une impression ayant dû suivre de près le dépôt du manuscrit de mon honorable contradicteur, pouvoir rencontrer bien des points qui réclamaient cependant quelque élucidation, autant dans l'intérêt de ces débats que dans celui de la science et de la vérité.

Je me suis cependant décidé à le faire, mon texte amplifié ayant passé aux *Mémoires*. Toutefois, ces observations détaillées sont ici fournies simplement sous forme d'annexe à la Note précédente.

Dans cette revue rapide, on aura, outre l'occasion d'apprécier le mode de polémique employé, l'avantage de trouver, j'espère, un certain nombre de données scientifiques sur lesquelles la discussion engagée permettra de faire une lumière profitable à tous. Cet exposé montrera en même temps, conjointement avec la Note ci-dessus, combien les critiques et attaques de M. Verstraeten sont *peu justifiées*.

Je diviserai cet exposé en quatre parties : la première consacrée à l'hydrologie des terrains rocheux calcaires; la deuxième à l'hydrologie de la craie. Ces deux chapitres compléteront ma réponse au travail inséré dans notre *Bulletin*.

Dans un troisième chapitre, je montrerai combien M. Verstraeten a eu tort de vouloir opposer certains massifs calcaires *belges* à l'avis des « maîtres de la Science » sur le régime aquifère des calcaires, et un chapitre final sera consacré à la mise au point du rôle de la *géologie*, et par conséquent de celui du *géologue*, dans l'élaboration scientifique de projets de recherches d'eaux alimentaires. Ces deux derniers chapitres répondent plus particulièrement à la *deuxième partie* de l'étude de M. Verstraeten, publiée dans le recueil gantois mentionné précédemment.

Hydrologie des terrains rocheux calcaires.

Page 94, § 5 de son étude (1), M. Verstraeten dit, en me visant :

Mais notre collègue n'a pas contredit M. Dupont, qui déclare que le délitement pénètre jusque 10 mètres et plus dans les schistes, et qu'il s'arrête à 1 mètre environ dans nos calcaires résistants du Hoyoux, du Bocq et de Han-Rochefort.

(1) *Bulletin de la Société belge de Géologie*, t. XI, 1897, Procès-Verbaux, pp. 93 et suiv.

Et là-dessus M. Verstraeten part en guerre, comme si *personnellement* j'avais défendu ou adopté cette thèse que le délitement dans les schistes serait, comme il dit, en se basant sur ce qu'a signalé M. Dupont, « *d'une manière générale dix fois plus profond que dans nos calcaires* ».

A cela je répondrai que s'il prenait fantaisie à des adversaires de me combattre au sujet de toutes les énonciations scientifiques faites par d'autres, ou bien de m'en attribuer la responsabilité, parce que je ne les ai point relevées, la discussion, ou plutôt la polémique scientifique relèverait bien vite de l'immortel et amusant poème de *Cervantes*, rappelant les évocatifs moulins à vent d'un de ses principaux héros.

Tout en reconnaissant d'ailleurs avec M. Dupont qu'*en général* la partie *accentuée* du délitement des masses schisteuses est plus développée *de beaucoup* dans les schistes que dans les calcaires, je me refuse à adopter des chiffres précis et des proportions constantes, qui seraient peu conformes à ce que nous montre la nature, par suite de la diversité et de la complexité des facteurs complémentaires qui règlent parfois très différemment ces proportions relatives.

Page 95, §§ 9 et 10, M. Verstraeten, signalant que j'admets l'existence, au sein des calcaires, de joints et de diaclases très multipliés, dit ce qui suit :

Il (M. Van den Broeck) ajoute que lorsque M. Dupont avance qu'ils (ces plans de divisions) sont *soudés* dans les calcaires, il ne faut pas prendre ce mot dans le sens rigoureux. Et comment donc faut-il le prendre? Le sens rigoureux n'est-il pas le seul qui convienne à la science? et par le terme *soudé*, M. Dupont a-t-il pu entendre : soudé au tiers, à la moitié, aux trois quarts?

Ici encore mon honorable contradicteur trouve de nouveau plus facile de s'attaquer aux mots plutôt qu'aux idées. Ce que j'avais en vue — et qui pouvait s'y tromper? — c'est qu'il ne faut pas admettre trop rigoureusement cette affirmation, quelque peu hasardée, de M. Dupont, qu'en général, *sous 1 mètre environ* de profondeur, les bancs calcaires seraient étroitement soudés, à part bien entendu de grandes diaclases. Je faisais allusion à l'existence si fréquente de *fentes secondaires*, assez nombreuses et assez larges encore, outre les grandes diaclases, pour que l'on ne puisse, sans protestation, suivre M. Dupont lorsqu'il dit (*Bulletin de la Soc. belge de Géol.*, t. VII, 1893; *Mém.*, p 199) que le phénomène de délitement du calcaire s'arrête assez brusquement sous environ 1 mètre et que sous cette minime profondeur « les bancs restent soudés et massifs et que l'eau ne sait plus y entrer ». S'élever contre ces conclusions trop absolues et dire, non en songeant aux fentes, mais aux bancs et au massif calcaire, qu'il ne faut pas prendre le mot *soudés* dans un sens trop rigoureux, ne veut nullement dire, comme le laisse à tort entendre M. Verstraeten, que j'admets « des soudures au tiers, à la moitié, aux trois quarts ».

Pages 95 et 96, M. Verstraeten, parlant des *épanouissements* le long des

joints et diaclases, soit des *cavités*, *grottes* et *cavernes*, dit ceci, nous visant cette fois, M. A. Rutot et moi :

Nos Secrétaires admettent l'existence de ces creusements dans les *calcaires*; le refusent aux *grès* comme aux *quartzo-schisteux* et les retrouvent dans les *craies*; etc...

Pourquoi, demande-t-il, les cavités ne se formeraient-elles pas dans les grès?

D'abord, il est inexact de dire que M. Rutot et moi avons refusé des « *cavités* » aux grès. Nous sommes d'accord avec tous les géologues indistinctement sur ce point, qu'à part de rares cas, où interviennent des actions de tectonique, les *grottes* et les *grandes cavernes* sont pour ainsi dire inconnues dans les grès et dans les quartzo-schisteux. Si M. Verstraeten croit qu'il y a des *grottes* dans les grès, qu'il en cite des exemples.

Quant aux fentes et aux cavités de minime importance, servant de réseau circulatoire aux eaux des grès et des psammites, si, contre toute évidence, nous les avons niées, comment s'expliquerait, dans notre étude sur les galeries alimentaires de Liège (1), cette phrase relative au massif houiller traversé par ces galeries, dont nous disions qu'il constitue un dépôt franchement perméable dans une région où nous l'avons signalé comme étant constitué par des schistes *redressés*, alternant par places avec des psammites et des grès? Ce n'est assurément pas l'élément *schiste* qui fournit à ce dépôt ainsi disposé sa perméabilité générale, mais bien le grès et les psammites, grâce aux fentes et aux cavités multiples, quoique peu importantes, qu'ils renferment.

Quant aux cavités importantes, pouvant être désignées sous le nom de *grottes* et de *cavernes*, si elles n'existent pas, en effet, d'une manière générale, dans les grès et dans les quartzo-schisteux, c'est — il est étonnant qu'il faille le rappeler à M. Verstraeten — parce que l'un des *principaux* facteurs du creusement de certaines roches, le phénomène de *dissolution* dû à l'acide carbonique des eaux d'infiltration, n'agit dans sa plénitude d'action que dans certains types spéciaux de roches, tels que le CALCAIRE et le gypse, que ce soit un calcaire rocheux ancien ou de la craie. Si les cavernes sont toutefois plus grandes et plus nombreuses dans les calcaires rocheux que dans cette dernière, c'est une conséquence de leur moindre menue fissuration, de leur plus grande cohésion et de leur plus grande résistance à l'affouillement et à l'écrasement, ces roches, bien plus que la craie, pouvant se passer de support sur de grands espaces.

La craie, cependant, quand elle n'est pas trop fendillée et fissurée — ce qui n'est nullement général, soit dans ses divers niveaux stratigraphiques, soit dans toute l'étendue d'un même horizon déterminé — se maintient

(1) E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT, *Étude géologique et hydrologique des galeries d'eaux alimentaires de la ville de Liège*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. I, 1887, Mém., pp. 242-275, pl. IX et X.)

parfois très bien en voûte (1), soit dans des caves ou galeries artificielles, soit dans des conduits et canaux naturels; mais les cavernes naturelles de grandes dimensions y sont rares, et, en Belgique, on n'en connaît point.

Nous aurons à revenir plus loin sur les prétendues « cavernes » naturelles de nos craies de Hesbaye dont M. Verstraeten m'attribue la mention, j'ignore encore *d'après quel texte* autre que les mots bien modestes de « *fentes* » et de « *cavités* » du régime circulatoire aquifère de ce dépôt.

Mais n'abandonnons pas l'hydrologie des calcaires rocheux.

M. Verstraeten, page 99 de son exposé, rappelle les vues de M. Dupont sur la différence du régime hydrologique dans les schistes et dans les calcaires, et il proteste contre mon affirmation que sa critique aurait exagéré ce qu'a exposé M. Ed. Dupont à ce sujet.

Si du fait, reconnu par M. Dupont, que beaucoup de puits domestiques de nos régions rocheuses s'alimentent dans les schistes (2), où se réunissent, jusqu'à une certaine profondeur, des eaux d'infiltration; si de ce fait, dis-je, M. Dupont avait conclu que l'on est fondé à espérer obtenir dans ces dépôts beaucoup d'eau pour d'importants travaux de drainage alimentaire, certes il y aurait là une grave erreur d'appréciation de cet auteur, et les critiques de M. Verstraeten n'eussent pas été *exagérées*. Mais dans la pensée de M. Dupont, il s'agissait comme objet principal d'engager le cultivateur à mieux utiliser cette réserve d'eau d'infiltration que contient la partie délitée du schiste et du quartzo-schisteux. En engageant le cultivateur soit à approfondir, à multiplier, soit même à compléter ses puits usuels par des tronçons ou bouts de galeries drainantes, M. Dupont lui renseignait le moyen de s'assurer une majoration de débit et surtout un fonctionnement plus régulier que celui de certains de ces puits de paysans, qui trop souvent tarissent en été. C'est là un bon conseil gratuit donné par M. Dupont aux cultivateurs, et l'on ne peut que l'approuver. Or, en laissant croire au lecteur que la portée du conseil est tout autre et qu'il y aurait généralement, d'après M. Dupont, *de grandes ressources aquifères* à retirer de l'établissement de *galeries drainantes* dans le schiste, — ce qui n'est possible que dans des cas spéciaux et localisés, — M. Verstraeten a

(1) Il faut aussi tenir compte de ce facteur de résistance plus grande à la dissolution que fournit d'une manière très générale une assez forte proportion d'*éléments siliceux*, épars ou concrétionnés dans nos craies sénoniennes, proportion dont les strates de *rognons de silex* fournissent l'indication d'une manière si visible dans la plupart de nos niveaux crétaqués du Hainaut et du Limbourg. Dans ma *Réponse à la note critique de M. Flamache* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. IX, 1895, Mém., pp. 368-415), j'ai signalé qu'il y a une telle proportion de *silice* dans la craie sénonienne du massif liégeois que les eaux qui en sortent et en ont dissous une partie, malgré la très faible solubilité de cette substance, en contiennent 247 grammes par mètre cube d'eau de drainage du massif crayeux, contre 2^{es}, 748 de calcaire dissous.

(2) Voir pour mieux préciser encore la thèse de M. Dupont, la *Note additionnelle* n° 1.

singulièrement exagéré son rôle de critique quand il dit: «*prémunissons les ENTREPRISES contre l'insuccès qui les attend dans les recherches d'eaux constantes en pareille occasion*». Que penser enfin de ses intentions quand il vient objecter, pour finir, «*qu'il ne faut pas plus fourvoyer les paysans que les ingénieurs*»? Tout cela parce que j'avais fait remarquer que les conseils de M. Dupont s'adressaient *plutôt* aux premiers qu'aux seconds.

Passant ensuite en revue ce que M. Rutot et moi, dans notre *Étude sur les galeries alimentaires de Liège* (LOC. CIT.) avons dit du terrain houiller, M. Verstraeten (p. 105) s'exprime ainsi :

Quant à la Géologie (du bassin du Geer). MM. les Secrétaires disent :

Du *terrain houiller* : qu'il est constitué par des alternances de schistes, de grès, de psammites, dépôt *franchement perméable* ;

Du *calcaire carbonifère* : qu'il est perméable, grâce à ses fentes, joints de stratifications et cavités diverses qui permettraient un écoulement irrégulier et localisé des eaux superficielles, si elles pouvaient atteindre en ces régions la surface du terrain primaire.

Et il dit plus loin (p. 106) :

Vérifions ces assertions telles quelles. Le *terrain houiller* serait donc *franchement perméable*. Il est certain que c'est inexact pour une de ses parties constitutives : le *schiste*; et que son intercalation dans un dépôt compromet la perméabilité de l'ensemble.

Le calcaire carbonifère, lui aussi, est perméable grâce à ses fentes, etc. ; mais s'il est fissuré au point d'être considéré comme perméable, pourquoi ne permettrait-il que des écoulements irréguliers et localisés de ses eaux ?

Il est toujours intéressant de placer en regard de ce que nous fait dire M. Verstraeten, le texte de ce que nous avons dit *réellement*.

Dans le chapitre II de notre étude sur les galeries liégeoises, il n'est *nullement* question des propriétés du TERRAIN HOULLER ni des calcaires carbonifères, *en général*. Comme l'indique l'entête dudit chapitre, nous n'avons eu à nous occuper ici que de la constitution du sol *dans la région traversée par les galeries* des eaux alimentaires.

Nous n'avons nullement dit qu'en général, le terrain houiller est un dépôt franchement perméable, ce qui serait une impardonnable hérésie, que cherche cependant à nous imputer M. Verstraeten

Nous avons dit, en nous référant à la figure 1 de notre planche X, que, *au dessus* du niveau d'une partie des galeries, le terrain houiller, disposé en tranches et en alternances VERTICALES *venant buter ici contre les parois horizontales des galeries*, montre que, dans la région considérée, «*les schistes redressés alternant avec des psammites et des grès (voir planche X, figure 1), constituent un dépôt franchement perméable*».

S'il est exact qu'envisagée dans le sens normal à la *succession* des couches, l'intercalation de schistes entre des bancs de psammites et de grès n'est pas favorable à la perméabilité de l'ensemble, il n'en est plus du tout de

même dans le cas d'une succession *redressée* de ces mêmes éléments, ni de son action sur des galeries qui se trouvent creusées horizontalement *sous* un massif ainsi constitué d'alternances perméables et imperméables.

Quant au motif, demandé par M. Verstraeten, qui, dans le calcaire fissuré, ne permet guère, selon nous, selon M. Dupont et suivant tous les géologues en général, que des écoulements irréguliers et localisés de ses eaux, c'est précisément parce qu'avec la profondeur se localisent et se raréfient de plus en plus les fentes, fractures et diaclases, constituant, avec leurs élargissements localisés, *les seuls espaces* que peut occuper l'eau dans ces massifs compacts et non poreux. C'est même là ce qui provoque souvent en profondeur une telle *proportion* de *discontinuité* dans les eaux des réservoirs aquifères des calcaires et des terrains fissurés, que cette discontinuité ne saurait raisonnablement, ni surtout *pratiquement*, être comparée à la « discontinuité » que provoque le volume d'un grain de sable dans les nappes ou couches aquifères des dépôts meubles. C'est cependant cette unification dérisoire, parce que absolue et systématique, des régimes aquifères qui hypnotise si fâcheusement M. Verstraeten, qu'il préfère se payer de mots plutôt que d'établir des lois utilisables en pratique. Et ce n'est certes pas de l'autorité des *Daubrée* ni des *Martel* qu'il pourra étayer de telles vues, et encore moins de celle de M. le professeur *Stainier*, que M. Verstraeten tente à plusieurs reprises de présenter comme acquis à ses vues et opposé à celles défendues par moi.

Voici quelques passages de M. E.-A. Martel extraits de son excellent petit manuel pratique de la collection « Scientia » et intitulé : *La Spéléologie* (Paris, 1900).

On sait quelle *distinction* a été établie par MM. Delesse, Daubrée, Éd. Dupont, de Lapparent, etc. (voir *Abîmes*, pp. 537 à 544), entre les *terrains meubles*, fragmentaires ou incohérents, et les *terrains fissurés*. Dans les premiers, *l'imbibition* de toute la masse donne naissance à de *vraies nappes d'eau* ; dans les seconds, le *suintement* et *l'infiltration* ne pouvant se produire que par les fentes naturelles, et l'eau ne pénétrant pas l'intérieur des blocs compacts délimités par ces fentes, il y a un *réseau de canaux* confluant des plus petits aux plus grands ; peu à peu, dans les profondeurs invisibles, la concentration de toutes les particules et de tous les filets d'eau forme un courant qui ne tarde pas à devenir une *vraie rivière souterraine*.

L'auteur cite ensuite les cas nombreux qui ont montré,

avec toutes les récentes recherches souterraines, que, dans les terrains calcaires, les réservoirs naturels des eaux de source ne sont pas, comme on l'enseigne encore, des nappes d'eau *étendues en tous sens*, ainsi que dans les terrains sablonneux, mais bien de vraies rivières, à niveau variable et à écoulement plus ou moins rapide dans des galeries développées surtout en hauteur et en largeur.

M. Martel, signalant ensuite, à l'appui de cette similitude, la rencontre qui a été faite, à plusieurs reprises, de véritables confluent de cours d'eau souterrains, ajoute (p. 34 du manuel précité) :

ET IL N'EST PLUS POSSIBLE de méconnaître que les fontaines puissantes du calcaire ne jaillissent, si subites et si abondantes, que comme résultantes et combinaisons de tout un système de vaisseaux intérieurs, affluents les uns des autres.

Cependant, quelques géologues et surtout beaucoup d'ingénieurs (1) se refusent encore à admettre que le mode de circulation des eaux souterraines des terrains fissurés soit aussi comparable à celui des ruisseaux et rivières de la surface, ou au système d'égouts (gouttières et collecteurs) d'une grande ville.

C'est même cette raison qui pousse M. Martel à s'allier avec M. Daubrée (Eaux souterraines, tome I, p. 18) pour demander la PROSCRIPTION pour les eaux des calcaires fissurés de l'expression *nappes d'eau*.

Il faut bien se persuader, dit-il page 35, qu'il n'y a pas, dans les terrains fissurés, de ces *nappes continues, spéciales aux terrains meubles ou poreux*.

M. Martel, page 36, rapportant l'avis de M. Schloesing (C. R. Acad. Sc., 13 avril 1896), d'après lequel, pour les terrains fissurés, « la nappe souterraine est discontinue au lieu d'être continue », ajoute :

Ce correctif n'est pas suffisant encore ; il faut professer, répétons-le, que dans ces terrains, les *courants* et les *poches* remplacent les *nappes*.

Enfin dans le chapitre VI du petit Traité : *La Spéléologie*, M. Martel répète nettement l'exposé de ses vues qui sont la synthèse de l'homme qui a le plus vu et observé par lui-même ce qui se passe dans les entrailles des massifs calcaires de l'Europe entière. Il dit :

Nous avons vu que la circulation souterraine, dans l'intérieur d'un plateau calcaire, est presque semblable à celle des rivières superficielles ; des courants s'y réunissent et s'y grossissent de proche en proche, exactement comme la canalisation des gouttières et des égouts d'une ville. Ils sont bien, pour les terrains fissurés, les collecteurs généraux des crevasses de drainage, ramifiées à l'infini dans le sol sous forme de hautes cheminées d'adduction (gouttières) et de longues galeries d'écoulement (égouts). (La Spéléologie : collection *Scientia*, p. 58.)

Comme nous avons cependant en Belgique des dispositions de bassins calcaires localisés, au fond desquels les eaux doivent s'amasser sous forme de nappes, discontinues il est vrai, mais *dépourvues*, en leurs régions profondes, de toute possibilité de circulation, il me semble que M. Martel va un peu loin avec cette proscription absolue, et, d'accord avec M. Boursault, on pourrait être moins sévère et moins exclusif pour l'emploi du mot *nappe*, bien que l'on puisse préconiser de préférence les expressions : *poches*, *masse*, *réserve* ou *réservoir aquifère*.

Voici maintenant ce que dit M. X. Stainier (2), professeur de géologie et d'hydrologie à l'Institut agricole de Gembloux et membre de la Commission géologique de Belgique :

Le mot de nappe aquifère éveille immédiatement à l'esprit une idée de *continuité*.

(1) Ce passage, faut-il le dire, s'applique spécialement à M. Verstraeten. (E. V. d. B.)

(2) *Allure des nappes aquifères au contact des terrains primaires*, par X. STAINIER, dans la *Technologie sanitaire* de 1896, 1^{re} année, n^o 18, du 15 avril, pp. 409-418.

de *régularité* qui, si elle est vraie pour les nappes comprises dans les terrains récents, horizontaux, est, au contraire, le plus souvent *fausse* pour les nappes en rapport avec les terrains primaires. Il en résulte que si l'on veut *appliquer à ces nappes des terrains primaires*, les procédés et les calculs au moyen desquels on peut prévoir *l'allure des nappes des terrains horizontaux*, presque toujours les *prévisions et les calculs se trouvent EN DÉFAUT*. Cet insuccès est dû à ce que *ces nappes sont essentiellement différentes*. Les unes sont continues, régulières, souvent très étendues; les autres, au contraire, sont discontinues, irrégulières, presque toujours très limitées.

Et voilà cependant l'avis d'un géologue que M. Verstraeten essaie à diverses reprises (voir pages 95 et 102) de faire considérer comme rangé sous sa bannière. Et, si accommodant, lorsqu'il tente de faire rimer *procédé de polémique avec vérité scientifique*, notre honorable contradicteur devient, au contraire, intransigeant si l'on n'adopte pas entièrement sa thèse. Il n'admet pas qu'on lui fasse même une petite concession. Et en effet, se reportant au compte rendu d'une excursion hydrologique de la Société en 1893, dans laquelle M. Rutot a admis « l'hypothèse de niveaux aquifères plus ou moins continus dans certains calcaires à allure *horizontale* et régulière, comme ceux de Tournai, par exemple », par contraste avec la localisation des eaux dans les calcaires redressés, M. Verstraeten ne veut pas même entendre parler ici d'hypothèses. C'est un *fait*, dit-il, que l'existence d'une *couche aquifère générale* dans cette roche, constatée, relevée, avec sa nappe déterminée de position, et il renvoie à sa figure 6, reproduite ci-dessous, représentant le système hydrologique du versant gauche de la vallée de l'Escaut, à Tournai.

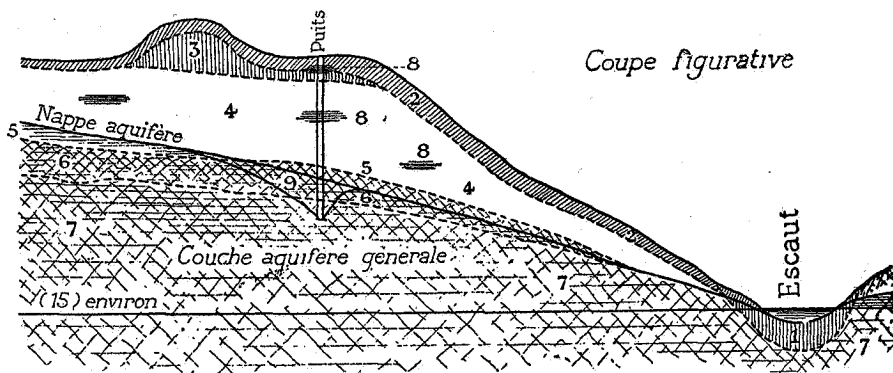


FIG. 3. — Système hydrologique du versant gauche de l'Escaut, à Tournai. — Reproduction de la figure 6 de M. Verstraeten.

LÉGENDE : 4. Alluvions perméables. — 2. Limon perméable. — Argile ypresienne imperméable. — 4. Sable landenien perméable avec (8) eaux locales. — 5. Cailloutis. — 6. Crétacé très fissuré. — 7. Calcaire carbonifère fissuré. — 9. Dépression locale de la nappe, causée par l'action du puits ici figuré.

Mais il nous eût été bien agréable, à M. Rutot et à moi, en 1887, de nous trouver, précisément à Tournai, en présence réelle de cette *merveilleuse*

nappe ou *couche aquifère générale*, dont la figure 6 ci-dessus de M. Verstraeten fournit l'attrayant mirage.

En effet, lorsque, à la demande de l'Administration des bâtiments civils, nous avons, mon collègue et moi, été appelés à étudier, en vue d'y remédier, les causes d'ARIDITÉ *presque absolue* d'un profond puits artésien de 170 mètres creusé à l'Asile des aliénés, nous avons pu constater que lorsqu'on sort de la région d'*infiltration latérale des eaux de l'Escaut* au sein des calcaires horizontaux de la région de Tournai, il se présente des endroits bien néfastes assurément aux hypothèses de M. Verstraeten, et où des puits creusés à des profondeurs *considérables* dans le calcaire horizontal restent absolument sans eau, sans alimentation souterraine autre que celle des terrains meubles recouvrants, alors qu'à de minimes distances les phénomènes de circulation et de localisation aquifère, si nettement niés par M. Verstraeten, fournissent, à des niveaux bien moins profonds, des ressources aquifères *abondantes*.

Voici le détail des FAITS constatés par nous *dans la région même que synthétise la figure 6 de M. Verstraeten*. Le puits, alors en creusement, de l'*Asile des aliénés*, situé à la cote 45, sur le versant gauche de la vallée de l'Escaut, avait atteint 170 mètres de profondeur et ne fournissait qu'une très faible venue d'eau, toujours la même depuis l'établissement du niveau d'eau aux débuts du creusement. Cette eau était très vite épuisée par un pompage de quelques heures à peine. Et cependant le puits de l'*Hospice civil*, situé à 500 mètres de là seulement, et à peu près à la même altitude, avait rencontré, vers le haut, un débit assez satisfaisant. L'eau provenait soit des parties supérieures du calcaire, soit du niveau aquifère de la base caillouteuse des dépôts secondaires recouvrants (1), et s'y maintenait, au pompage, à 36 mètres du sol.

C'est en adoptant la croyance, si peu justifiée, des nappes d'imprégnation générale et de l'existence d'un réseau assez *constant* de joints et lithoclasses *aquifères* dans tout massif calcaire en général, croyance qui est celle de M. Verstraeten, que l'on avait successivement foré, à grands frais, mais

(1) Creusé à la cote 47.37, le puits de l'*Hospice civil* a son niveau piézométrique à 32^m,50 du sol. Au pompage, l'eau descend à 36 mètres du sol et ne baisse plus. Certains hivers, l'eau remonte de 2 mètres, ce qui est assez significatif comme donnée sur l'origine peu profonde de la venue d'eau. Le puits est maçonné sur 30 mètres.

La succession des dépôts rencontrés est la suivante : limon quaternaire, 2 mètres; argile grise turonienne, 10 mètres; argile grise avec petits cailloux et eau, à 13 mètres, 1^m,50; argilite, sable, gros cailloux et silex, 1 mètre; argilite à silex, 2^m,70; glaise noire (altération de la marne sous-jacente) 1^m,50; marne blanche, 3^m,50; marne blanche avec glaise jaune et gravier, 0^m,70; calcaire carbonifère, 7^m,30, dont les 5 derniers mètres fossilifères. Ce puits de 30 mètres, qui a 1^m,45 de diamètre, se continue par un forage dans le calcaire, ayant 70 mètres de profondeur et dont le diamètre, d'abord de 0^m,30, passe à 0^m,20 dans sa partie inférieure.

bien inutilement, au fond de ces deux puits, un épais massif de calcaire : 70 mètres d'un côté, 143 de l'autre !

Nous apprîmes d'abord que la coupe du puits de l'Asile se composait d'environ 13 mètres de limon avec cailloux quaternaires à la base, d'un peu de Landenien, puis de 4 mètres de marnes turoniennes avec 2 mètres de gravier et de cailloux à la base. Dessous s'étendait un massif homogène de 151 mètres de *calcaire carbonifère*, dont 143 percés dans le forage qui continue le puits, profond de 28 mètres, dont 8 de calcaire.

Après divers essais de pompage montrant l'absence de venues d'eau en profondeur dans le massif calcaire, nous fîmes hermétiquement boucher le forage (0^m,45 de diamètre) à 70 mètres de profondeur sous le sol et nous constatâmes, à l'aide d'une pompe placée à environ 61 mètres, que le débit restait le même qu'auparavant. Après avoir, à diverses reprises, enlevé un certain nombre d'hectolitres, nous avons constaté qu'il n'y avait plus d'eau et qu'il fallait une *vingtaine d'heures* pour laisser se renouveler la réserve du puits

Ainsi des pompages exécutés pendant trois jours consécutifs, à raison, successivement, de quatre heures trois quarts, quatre heures trois quarts et huit heures — répartis en deux périodes, séparées, à midi, par l'heure du repas, des six ouvriers pompeurs — ont fourni respectivement 74, 87 et 105 hectolitres et ont chaque fois amené l'*assèchement* du puits, comme c'était le cas avant la mise en position du bouchon à 70 mètres. On reconnaît ici, par l'augmentation des réserves, l'action bien connue du pompage sur le débouchage des canaux aquifères souterrains. Malgré cela, l'extrême lenteur du renouvellement est si peu conciliable, on en conviendra, avec l'existence d'un réseau général aquifère dans le massif calcaire de ces parages que l'on a grande peine à admettre que l'eau du puits provienne spécialement du calcaire. Il y a mieux encore. On entendait distinctement, en plaçant l'oreille à l'orifice du puits, l'eau tomber et dégouliner d'une certaine hauteur dans celui-ci. Cette eau devait donc, au moins en grande partie, provenir de l'épais cailloutis de la base du Turonien, dont une partie suintait à travers la maçonnerie et dont une autre partie sans doute s'infiltrait en cheminement oblique et par escaliers dans la partie superficielle du massif calcaire sous-jacent. Quant aux *151 mètres de calcaire*, ils ne contribuaient guère, s'ils y étaient pour quelque chose, à la maigre et lente alimentation du puits de l'Asile !

Si, dans ses niveaux supérieurs, le puits voisin de l'Hospice civil trouvait — ce qui n'est nullement prouvé — une source d'alimentation *autre* que la base caillouteuse du Turonien, il le devait alors soit à un *joint aquifère*, bien ouvert, du calcaire, soit à quelque heureuse *fissure* localisée dans ces parages.

L'existence localisée à certains niveaux de ces joints aquifères nous a d'ailleurs été démontrée par l'examen, en pleine saison de gelée, de carrières voisines *en contre-bas de la région considérée*.

Nous y avons nettement constaté l'existence de deux ou trois *joint*s horizontaux fournissant de l'eau; mais le *faible volume* DE GLACE restée accumulée en ces points d'écoulement aquifère et représentant le produit total de déversement après une certaine période de forte gelée était non moins nettement démonstratif de la *faible quantité d'eau* fournie par ces joints du calcaire.

Certes, il faut tenir compte du drain constitué par la cavité artificielle des carrières et du rabattement des niveaux aquifères qui en résulte, mais la *présence*, à des niveaux supérieurs au fond de la carrière, de ces *venues d'eau* constitue par contre la preuve *indéniable* de l'existence d'un *régime circulatoire localisé* fonctionnant *au-dessus* des réserves aquifères que d'autres joints et diaclases renferment aussi, par places, plus bas. N'oublions pas que c'est la mention de ce *régime circulatoire localisé*, dans notre communication du 12 novembre 1898 qui a excité, bien à tort, la verve de M. Verstraeten, puisque c'est la non-compréhension de ce caractère qui a constitué le fond de ses attaques contre ce qu'il a appelé notre « conception hydrologique nouvelle ».

Mais revenons à nos constatations de Tournai et demandons-nous ce que devient dans tout cela l'humide *mirage* de la figure 6 de M. Verstraeten, ainsi que la *belle nappe profonde et d'imprégnation générale* qu'elle représente, nappe dans laquelle les forages des deux puits de l'Hospice civil, et surtout celui, si profond, de l'Asile des aliénés ont vainement cherché à s'alimenter. C'est un absolu *néant* aquifère qu'ils y ont trouvé, malgré les innombrables joints et aussi les cassures qu'ils ont dû rencontrer sur un pareil développement vertical de roches régulièrement stratifiées et sensiblement horizontales. Et dire que nous voici cependant dans la région de la rive gauche de l'Escaut et dans le massif, *tout baigné d'eau*, que représente (voir p. 410) la figure 6 de notre honorable contradicteur!

Un peu *trop discontinues*, EN FAIT, les eaux d'imprégnation générale, les vastes nappes aquifères du calcaire, telles que les conçoit et les représente M. Verstraeten!

Ce que nous avons constaté à Tournai, à cette occasion, est aussi *un fait*, je pense, et il est confirmé par de multiples observations analogues signalées par M. le professeur Gosselet (1) dans ses *Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France*.

Parmi les observations citées par le savant géologue de Lille, je ne puis résister au désir de mentionner les suivantes, montrant, pour le cas de couches de calcaire carbonifère en strates inclinées, localisant, parallèlement à cette disposition, les nappes souterraines du calcaire, combien est fausse la généralité de la conception que M. Verstraeten applique, sans distinction, à tous les massifs calcaires, de l'existence d'un *réservoir*

(1) *Loc. cit.*

général d'imprégnation et d'emmagasinement aquifère au travers de la masse profonde des massifs calcaires.

Parlant d'une série de forages infructueux tentés à Lille, M. Gosselet dit :

On avait fait, il y a quelques années, un puits qui avait atteint le Calcaire carbonifère à 120 mètres de profondeur, et l'on avait obtenu de l'eau. L'année passée on voulut faire un second puits à 100 mètres de distance du premier. On recoupa les même terrains ; on alla jusque 180 mètres sans rencontrer d'eau.

Pourquoi le succès dans le premier cas et l'insuccès dans le second ?

Tout simplement parce que, comme le montre plus loin M. Gosselet, les couches à réservoirs aquifères constituent, dans certains massifs de calcaires réguliers disposés en bancs rectilignes, des niveaux spéciaux et localisés, et lorsqu'ils sont, comme à Lille, régulièrement inclinés, il arrive parfois que de nouveaux forages, même à petite distance, restent dans des niveaux stratigraphiquement inférieurs à ceux aquifères, dont l'eau ne se répand nullement par imprégnation générale, comme se le figure M. Verstraeten, dans toute la masse profonde du massif calcaire.

M. Gosselet ajoute encore :

On fait, en 1838, un sondage à Crèvecœur, près Cambrai, pour chercher le charbon. On pénètre à 123 mètres dans le Calcaire carbonifère : l'eau jaillit immédiatement. A 131 mètres, elle vient avec une telle violence qu'il faut interrompre les travaux...

Ce résultat décide le propriétaire du château de Révélen, situé aussi à Crèvecœur, à faire un sondage pour avoir de l'eau jaillissante dans sa propriété. A 123 mètres de profondeur, il rencontre le calcaire dur, mais pas d'eau. Il va jusqu'à 137 mètres : pas une goutte d'eau !

Dans son étude sur *l'alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France* (1), M. le professeur Gosselet signale encore un cas de ce genre, constaté à Croix, près de Roubaix.

Des puits productifs ouverts dans cette localité dans la dolomie du calcaire carbonifère, dont les bancs sont dirigés de l'est à l'ouest, avaient engagés un teinturier de Croix, M. Hannaert, à s'adresser à M. Gosselet pour la désignation de l'emplacement d'un puits creusé dans le calcaire. Un puits foré à l'ouest des forages productifs rencontra la dolomie de 82 à 101 mètres de profondeur et trois cavités heureusement rencontrées dans cette partie du massif calcaire fournirent de l'eau en abondance, à raison de 4,000 mètres cubes par vingt-quatre heures et avec jaillissement à 5^m,70 au-dessus du sol. M. Hannaert ayant ensuite foré un

(1) Conférence donnée en 1898 à la Société géologique de France, reproduite dans les *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XXVII, pp. 272-294.

nouveau puits à 10 mètres seulement du précédent, ne trouva qu'un massif de dolomie compacte, épais de 30 mètres et il n'obtint pas une goutte d'eau.

Les voilà bien les nappes générales d'imprégnation des massifs calcaires fissurés, analogues à celles des dépôts meubles!

Aux croquis imaginaires de M. Verstraeten, fournissant pour tous les types — si divers en réalité — des réservoirs aquifères du calcaire, des allures toujours identiques entre elles et identiques aussi à celles des couches aquifères des terrains meubles, j'opposerai simplement ceux si simples, si suggestifs et si convaincants, représentés par les figures 5, 6 et 7 des *Leçons* de M. le professeur Gosselet, auxquels on voudra bien reconnaître quelque autorité (1).

Il faut remarquer que le cas des couches calcaires régulièrement inclinées visé par le savant professeur de Lille, est celui qui se représente aussi des deux côtés d'un « bassin » calcaire en forme de cuve ou de fuseau allongé.

Je regrette d'avoir dû engager mon honorable contradicteur à méditer les « Leçons » de M. le professeur Gosselet, et à lui rappeler ces excellentes données d'hydrologie pratique, qui INFIRMENT si nettement l'existence des vastes couches d'imprégnation générale en profondeur, imaginées par M. Verstraeten. Aussi, l'on-peut se demander s'il ne faut pas renvoyer à ce dernier, la crainte de « fourvoyer les ingénieurs » ou les administrations qui se baseraient sur ses conceptions pour établir des travaux d'eau en massifs calcaires!

M. Verstraeten, qui a vaillamment fait ses preuves dans le drainage des terrains meubles, dont la géologie et l'hydrologie, autrement faciles que celles des terrains primaires, lui sont certainement familières, aurait sagement agi en ne prenant pas nettement position, comme il l'a fait (2), dans une question aussi complexe et aussi difficile que celle de l'hydrologie des terrains calcaires, laquelle réclame une préparation géologique longue et difficile.

S'il veut, laissant de côté toute question d'amour-propre, examiner impartialement l'ensemble des faits, des définitions et de l'expérience de l'universalité des géologues, hydrologues et spécialistes, il devra bien, en toute équité, reconnaître qu'il reste à peu près seul de son avis, alors

(1) *Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XIV, 1886-1887, pp. 280, 281 et 282. Voir aussi : *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. II, 1888. Trad. et reproduit. pp. 26, 27 et 28 (la figure 5 de la page 26 est numérotée par erreur : fig. 7).

(2) TH. VERSTRAETEN, *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., etc., t. VIII, 1894, Proc.-Verb., pp. 144-165.) TH. VERSTRAETEN, *Hydrologie des bassins rocheux de Belgique. — Examen des opinions contradictoires émises à ce sujet.* (IBIDEM, t. IX, 1895.) *Mém.* pp. 241-259.

qu'il croyait, tant en matière d'opinions qu'en matière de terminologie, rallier de nombreux spécialistes à sa manière de voir.

Pour en revenir aux divers exemples précédemment rappelés, fournis par des puits creusés dans le calcaire, n'est-ce pas sortir complètement du domaine de la *pratique technique* de comparer les discontinuités d'eau dans les calcaires, telles qu'elles ressortent des croquis et des exemples de M. Gosselet, et du cas que nous avons signalé pour Tournai, aux discontinuités des couches aquifères dans les dépôts meubles, où les eaux sont, comme le dit M. Verstraeten, « nécessairement interrompues par les *grains de sable*, les graviers, les cailloux, les galets, les blocs, les *massifs* » ?

Ainsi le *massif* calcaire, resté sans eau sur 60 mètres, cité par M. Gosselet, d'un puits profond de 180 mètres, situé à 100 mètres de distance d'un autre puits qui en fournissait abondamment dès 120 mètres; le massif qui, sur 30 mètres de hauteur, n'a pu faire rencontrer une goutte d'eau, et cela à 10 mètres de distance d'un autre puits fournissant 4,000 mètres cubes par jour, voilà les ÉQUIVALENTS morphologiques de l'élément de « discontinuité » fourni par un *grain de sable* séparant deux particules d'eau dans une couche aquifère de terrain meuble !

Et voilà cependant comment M. Verstraeten entend *unifier* PRATIQUEMENT *l'hydrologie des calcaires avec celle des dépôts meubles* !

S'il s'était borné à nous dire que les calcaires, qu'en « romancier » de la tectonique, il qualifie pittoresquement de « secoués, ondulés, plissés, brisés, renversés, bouleversés », ou que tout au moins certains de nos petits replis et bassins calcaires primaires belges, très convulsés et fracturés, paraissent devoir fournir plus de voies de communication et de canaux de circulation générale que les calcaires, restés réguliers et horizontaux ou obliques du Tournaisis ou du Nord, c'eût été autre chose.

Il aurait même pu ajouter que, conformément cette fois à sa thèse, de *tels* bassins fermés, en cuvettes calcaires isolées par un substratum imperméable, peuvent parfois contenir, *dans le bas*, LORSQU'ILS SONT SUFFISAMMENT FISSURÉS, de véritables réservoirs aquifères d'imprégnation générale jouant le rôle des nappes ordinaires des dépôts meubles.

Aussi est-ce précisément en vue de pareils bassins calcaires, *mais de ceux-là seulement*, que je me déclare partiellement d'accord avec M. Verstraeten pour adopter la disposition générale du réservoir aquifère de M. Verstraeten, figuré page 396, mais, bien entendu, avec l'adjonction du *dispositif supérieur de circulation temporaire localisée*, que représente schématiquement la figure 6 (voir *ante*, page 399) de l'étude de M. Stainier dans sa *Note sur la formation des cavernes*, dispositif dont la notion paraît échapper à mon honorable contradicteur. C'est ce que j'ai développé pages 396 à 399 de ma présente réponse : il est donc inutile d'y revenir, et ce simple rappel clôturera la série d'exemples que je tenais à fournir du mode

de discussion « scientifique » de M. Verstraeten en ce qui concerne l'hydrologie des terrains calcaires.

Dans les pages qui précèdent, j'ai surtout rencontré « le Critique » défendant obstinément sa thèse de *l'unification des régimes aquifères* et le principe de *l'identité d'allures et de caractères* des nappes, aussi bien en *terrain fissuré calcaire* qu'en *terrain perméable meuble*.

Il serait intéressant de rechercher si « l'Ingénieur », aux prises avec la nature et avec les travaux à exécuter, a pu toujours défendre pareille thèse et l'appliquer à ses études et projets.

Un exposé technique de M. Verstraeten, publié à Tournai en 1888 et intitulé : *La question des eaux de Tournai*, va se charger de nous édifier à cet égard.

En ce temps-là, M. Verstraeten, avec la collaboration de son collègue, M. l'ingénieur François, s'occupait de rechercher des eaux alimentaires pour Tournai, et il proposa à l'Administration communale de cette ville un ensemble de projets, non adoptés d'ailleurs, dont il exposa l'économie dans un Rapport présenté à une séance de la Commission locale des eaux, le 16 août 1888.

La brochure, dont on va lire quelques paragraphes, reproduit les principaux éléments de ce Rapport.

L'auteur commence par dire, avec raison, que « l'étude de la question des eaux de Tournai exige tout d'abord l'examen du sol et du sous-sol » des deux versants de l'Escaut. Avec non moins de raison, il a commencé par déléguer son confrère, M. François, auprès d'un géologue, M. Rutot, familiarisé avec le sol et le sous-sol du Hainaut, et il lui a fait demander des renseignements, des croquis et diagrammes géologiques qui, gracieusement fournis, ont été joints, sinon à la brochure imprimée, qui y fait cependant maintes allusions, du moins au Rapport officiel présenté à l'Administration communale.

Page 5 de sa brochure, M. Verstraeten dit ceci :

Les notes et croquis de M. Rutot, ingénieur-géologue, joints au présent exposé, permettront à ceux qui le désirent, de puiser de plus amples informations sur le sous-sol de la contrée.

A cette époque donc, M. Verstraeten, pour ses travaux techniques, ne dédaignait pas de commencer par réclamer l'aide et le concours du géologue, afin d'être exactement renseigné sur les terrains qu'il se proposait de drainer.

Il est à remarquer que, six ans plus tard, M. Verstraeten, embarqué dans la thèse que l'on sait, sur l'hydrologie des calcaires, avait perdu de vue son propre mode opératoire.

Il dit, en effet, en ouvrant le chapitre *Historique* de son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (1) :

Dans l'exposé qu'il nous a présenté le 23 janvier 1893, M. Putzeys, directeur des Eaux de la ville de Bruxelles, exprime l'opinion que l'ingénieur hydrologue doit s'effacer devant le géologue quand il s'agit d'apprécier, au point de vue des eaux, ce qui se passe dans les entrailles de la terre.

Je ne saurais admettre cette manière de voir. Je regarde cette soumission comme trop commode, comme incompatible avec une vraie direction, une vraie responsabilité : j'estime que tout chef d'un service public important, s'il a le devoir de consulter toutes les autorités, n'a pas le droit de s'effacer devant aucune d'elles.

Toujours les mêmes querelles de mots, auxquelles nous a habitués M. Verstraeten !

Il ne s'agit pas, dans ce qu'a dit très justement M. Putzeys, de soumission, d'abandon de responsabilité ni de direction, non plus que d'effacement devant le géologue : il est question tout simplement de l'importance pratique qu'il y a à faire intervenir, dès le début, le géologue, c'est-à-dire à consulter *rationnellement* la géologie, pour être à même, sans tâtonnements, recherches inutiles ni perte de temps, « d'apprécier, au point de vue des eaux, ce qui se passe dans les entrailles de la terre ».

Or, c'est bien cela, d'accord avec l'excellent conseil de M. Putzeys, que MM. les ingénieurs Verstraeten et François avaient fait en 1888, à propos de leur étude des eaux de Tournai ; et c'est ce que M. l'ingénieur François, en particulier, l'ancien collaborateur de notre honorable contradicteur, a fait encore, avec raison et sagacité, en maintes circonstances similaires, qu'il serait facile d'énumérer.

La conséquence de cette consultation géologique préalable de 1888 est que l'exposé fait par M. Verstraeten du régime géologique et hydrologique de la série des terrains meubles (quaternaire, tertiaire et crétacé) de la région de Tournai est bien fait, rationnel et complet.

Mais, passant au vaste et uniforme substratum de *calcaire rocheux* qui constitue le soubassement de ces dépôts meubles, tertiaires et secondaires, M. l'ingénieur Verstraeten, aidé seulement par M. l'ingénieur François, a voulu en aborder l'étude hydrologique, se basant seulement pour cela sur l'examen des carrières et sur l'étude des puits, et sans songer apparemment qu'un géologue des plus compétents en matière d'hydrologie primaire, M. le professeur J. Gosselet, aurait pu aisément, pour ce substratum rocheux et son hydrologie, lui rendre les mêmes services que ceux qu'il avait réclamés de M. Rutot, spécialement pour les dépôts meubles recouvrants.

Voyons maintenant ce que, abandonné à lui-même, M. Verstraeten a

(1) *Bulletin de la Société belge de géologie, etc.*, t. VIII, 1894, Procès-Verbaux, pp. 144-165.

exposé relativement au régime hydrologique des calcaires de la région de Tournai.

Dans les pages 6-7 de son exposé, il suppose qu'un tube de forage pénètre successivement au travers des couches indiquées dans les croquis de M. Rutot, et il considère cette opération s'effectuant préalablement à l'existence des puits, carrières, etc., œuvres de l'homme, qui ont modifié les données actuelles du problème hydrologique.

Il dit, page 7 :

Nous abordons de la sorte le calcaire. Si aucune fissure n'est découverte, l'eau (précédemment rencontrée par le tube susdit dans le Tertiaire, puis dans le Crétacé) ne reparait plus, mais cette roche est *tellement fracturée* que le tube ne tarde pas à tomber dans une fente d'où surgit la source qui s'élève dans le forage. Puis le tube entre dans la roche compacte et toute affluence liquide est supprimée. Puis, nouvelle pénétration dans la roche crevassée et réapparition d'une source plus abondante que la première et s'élevant plus haut, etc.

Mais ce que M. Verstraeten escompte ainsi ne se présente guère, il le reconnaît, dans la réalité.

Ce sont, dit-il, les puits multiples de la contrée et les épuisements considérables des carrières qui en sont cause, et, à la suite de cette constatation, les carrières en question ont été longuement étudiées à ce point de vue par son collaborateur, M. François. Cet examen, dit M. Verstraeten, a fait naître les observations suivantes :

Les volumes débités (1) sont d'autant plus considérables que les carrières sont creusées *plus bas sous la flottaison de l'Escaut* et en sont *moins éloignées* ; ces débits sont *hors de proportion* avec ce que peut fournir la couche aquifère supérieure. Ils *varient fortement d'une saison à l'autre*, au moins pour les carrières peu distantes du fleuve, dont *les crues les influencent*. Les carrières se drainent l'une l'autre et assèchent les puits à *grande distance*.

La conclusion à tirer de là : c'est que ces excavations profondes ne sont pas seulement alimentées par les eaux de filtration de la zone considérée, mais par les EAUX COURANTES, VOISINES OU LOINTAINES, NOTAMMENT PAR LE FLEUVE, à l'aide de fissures, de crevasses développées qui s'étendent à DES DISTANCES PROBABLEMENT CONSIDÉRABLES *sous les fonds des vallées*.

(1) Certaines carrières profondes de la rive gauche, dont le débit a été jaugé par M. François, fournissent, quand on extrait au fond, jusque 9,000 mètres cubes par vingt-quatre heures (carrière du Cornet) et même 12,500 mètres cubes (carrière de Chercq). Dans plusieurs de celles de la rive droite, l'influence saisonnière se fait fortement sentir, montrant que la source d'alimentation dérive très directement soit du fleuve, soit des dépôts meubles recouvrant le plateau calcaire. Ainsi la carrière d'Allain fournit en été 8,000 mètres cubes et en hiver juste le *double* ; la carrière du Boucher fournit par vingt-quatre heures en été 550 mètres cubes et 800 en hiver et la carrière Crèveœur 7,000 mètres cubes l'été et 12,000 mètres cubes l'hiver.

D'autres carrières encore, situées le long de la route de Leuze, montrent dans leur débit d'été et d'hiver les mêmes divergences.

La VÉRITABLE conclusion à tirer de là *par un géologue*, est que les passages *ici soulignés* dans le texte de M. l'ingénieur Verstraeten suffisent, sans autre commentaire, pour montrer combien *sont, ou peuvent devenir, dangereuses* et en tout cas *peu recommandables* pour l'ALIMENTATION PUBLIQUE, les eaux contenues dans un massif calcaire parcouru de canaux de communication le mettant en si facile correspondance d'alimentation, tant avec les eaux du fleuve qu'avec les eaux superficielles. Il est encore à remarquer que celles ci, dans les bas niveaux et dépressions du sol, ne peuvent plus, avant de disparaître dans les crevasses et réservoirs du calcaire, être convenablement filtrées par les sédiments tertiaires et crétacés, localisés surtout vers les hauteurs. Nous voici bien loin aussi — fera observer le géologue, que le susdit texte met en présence de ce *système localisé d'eaux courantes souterraines* — de la nappe paisible, de qualités uniformes et constantes et d'imprégnation générale dont M. Verstraeten veut à tout prix doter les massifs calcaires crevassés, sans s'inquiéter de leurs différences de conditions géologiques et d'influences tectoniques.

L'embarras de notre honorable contradicteur devant certains faits, tout naturels pour celui qui a une notion exacte du régime hydrologique des calcaires, se décèle sans ambages, lorsqu'à propos de l'examen d'un nivellement hydrographique dressé par M. François pour la région étudiée, il ajoute, page 9 :

Dans la nappe ainsi représentée, il y a *des faits singuliers* sur lesquels il faut appeler l'attention. Les courbes de niveau accusent *trois entonnoirs complets creusés dans la couche aquifère* : la première au lieu dit Pic-au-Vent; la seconde à l'amont du faubourg Saint-Martin; la troisième entre ce faubourg et celui de Lille.

Ces dépressions annoncent évidemment autant de *drainages sous-jacents*, mais COMMENT ET PAR QUOI ?

Si au centre de chacune d'elles se trouvait un *grand puits* d'où l'eau fût *constamment retirée*, il n'y aurait pas à chercher d'autres causes, mais RIEN DE PAREIL N'EXISTE.

Il n'est pas admissible que sous ces endroits on ait autrefois créé *des galeries* dont on ignorerait aujourd'hui l'existence; d'ailleurs de tels drains détermineraient d'autres effets et leurs produits iraient déboucher quelque part à ciel ouvert. La seule cause de ces phénomènes que nous puissions admettre réside dans les fissures de la roche calcaire qui, se ramifiant vers les *entonnoirs* cités, débouchent dans des carrières actuellement en exploitation. Alors tout s'explique, mais alors aussi nous tenons autant de preuves de la non-étanchéité absolue de l'assise inférieure du Crétacé, et il faut en conclure que ce même défaut se répète ailleurs en beaucoup de points. C'est, *selon toutes probabilités*, à ce fait que doit être attribué le peu de hauteur de la couche d'eau sur le Crétacé.

Le géologue, lui, j'en appelle à mes confrères de toute école, de tous pays, aurait-il éprouvé de telles perplexités, émis ces hypothèses de possibilité de galerie drainante, d'existence d'anciens puits et trouvé ces faits *si singuliers*? Aurait-il hésité *un seul instant* sur la signification à donner aux faits mis typographiquement en relief dans ma reproduction du texte

de M. Verstraeten? Évidemment non, car c'est une des CARACTÉRISTIQUES des régions rocheuses *calcaires* de tous pays que l'existence de ces *aigueois de plateau*, les uns mis au jour par affleurement au sol et absorbant tantôt des ruisseaux temporaires ou permanents, tantôt des eaux pluviales torrentielles ou de fonte de neige, les autres, sous-jacents à des recouvrements de dépôts meubles et aspirant, comme de voraces « puits perdus », leurs nappes et ressources aquifères.

Le *modus operandi* de l'alimentation des calcaires se trouve ici pris sur le vif par M. Verstraeten, grâce à ce qu'il appelle les « singularités » de son nivellement hydrographique. Et cependant l'ÉNORME PORTÉE du fait, au point de vue de la *qualité et des dangers de l'eau d'alimentation* prise, sans étude géologique approfondie, en *massif calcaire*, lui échappe complètement, de même que lui a échappé la dualité d'état qui, si souvent, distingue le régime hydrologique des calcaires fissurés de celui des dépôts meubles!

Nous avons vu, dans la première partie de ma réponse à M. Verstraeten, que, de même, la notion du *régime circulatoire localisé* invoqué par M. Rutot et moi dans notre bref exposé du 12 novembre 1895, lui a échappé aussi, puisqu'il ne veut, à aucun prix, admettre cet élément comme l'une des caractéristiques d'une partie du régime aquifère dans les calcaires.

Eh bien, dans cette même brochure de 1888, consacrée à l'examen des eaux de Tournai, M. Verstraeten, sans s'en douter, bien certainement, l'expose *très nettement*, sept ans avant nous; ce qui est assez piquant! En effet, à propos des *carrières* qui entament, à des profondeurs dépassant parfois 40 mètres, le massif de calcaire à Tournai et, en appréciant leur effet drainant sur le régime *actuel* des eaux souterraines, M. Verstraeten fournit un exposé dans lequel il n'y a qu'à considérer le drain profond fourni par la *carrière* comme l'équivalent — et tel est bien le cas — du drain fourni par une *vallée* à parois rocheuses calcaires et avec sources au thalweg. Grâce à ce parallélisme, parfaitement justifié, on arrive à faire fournir, par M. Verstraeten lui-même, une parfaite exposition du *régime circulatoire localisé* défini par nous tant en 1895, que tantôt dans les pages 396 à 399 du présent exposé. Voici, à l'appui de ce que j'énonce ici, le texte de M. Verstraeten (p. 10) dont je me borne à *souligner* quelques passages :

Et maintenant revenons aux carrières, en considérant particulièrement celles du voisinage de Tournai. Le pompage énergique qu'on y effectue (lisez : *l'action des sources du thalweg* des vallées rocheuses calcaires) soutire tout d'abord l'eau de la roche autour des excavations. Cette eau qui, sans l'épuisement, presserait de bas en haut la couche crétacée sus-jacente, s'abaisse donc; les fissures, les crevasses immédiatement au-dessous du Crétacé *se vident* et deviennent autant de *drains naturels* pour la *couche aquifère supérieure* qui pèse sur les lésions plus ou moins multipliées de cette roche. Pour que l'eau passe au travers du Crétacé par ses fissures si ténues, elle doit vaincre

des frottements notables, et il faut donc de la charge, une certaine épaisseur ou hauteur de couche d'eau.

L'élément liquide qui de la sorte a traversé le Crétacé, tombe dans une crevasse vidée du Calcaire qui le conduit, après un parcours plus ou moins long, plus ou moins tourmenté, vers les points de pompage (lisez : vers les sources du thalweg des vallées rocheuses calcaires).

Mais pour cheminer ainsi, l'eau subit encore une fois des frottements, résistances qui appellent de la charge, et il s'ensuit que *plus cette eau vient de loin, plus elle descend de haut* : de telle sorte qu'il se peut bien que *si les fissures de la roche calcaire sont VIDES et conséquemment ACTIVES dans le voisinage des carrières à épousinement, elles sont restées PLEINES et PASSIVES à quelque distance de ces centres de drainage.*

Est-il possible de mieux définir la dualité de caractère qui existe entre notre zone inférieure du régime statique A (voir la figure 1 de la page 396) et celle supérieure BA de notre régime circulatoire localisé (fig. 2, p. 399) ?

Au lieu de chercher à railler, en 1897, notre « conception hydrologique nouvelle » de novembre 1895, qu'il a lui-même si bien exposée dès 1888 pour le cas spécial de Tournai, M. Verstraeten aurait été mieux avisé en nous traitant de plagiaires inconscients, puisque à l'aide d'un léger démarquage consistant à remplacer *carrière* par *vallée* et *pompage* par *source*, nous n'aurions, en 1895, que réédité d'une manière plus générale le cas spécial si bien exposé par notre honorable contradicteur en 1888 !

Ce que l'on peut encore se demander, c'est comment il se fait que les *grandes variations* du degré hydrotimétrique et du dosage des matières organiques, rapportées sans grands commentaires par M. Verstraeten pour l'analyse des eaux de la vingtaine de carrières énumérées dans son tableau de la page 8, ne lui aient pas ouvert les yeux sur la *non-existence* d'une nappe générale d'imprégnation, et dévoilé au contraire la *division*, la *diversité* et la *localisation* des réserves aquifères des calcaires. Ainsi l'on voit le *degré hydrotimétrique varier de 26° à 57°* et le dosage de la *matière organique*, une seule fois abaissée à 18 milligrammes, varier de carrière en carrière de 20 à 24 milligrammes.

De telles variations plaident absolument en faveur de la *subdivision*, de l'*indépendance* et de la *localisation* des réserves aquifères du Calcaire.

L'exposé de M. Verstraeten, après une étude sur la qualité des diverses eaux souterraines de la contrée de Tournai, passe en revue les divers projets qui, écartant avec raison l'eau des ruisseaux et du fleuve, s'adressent d'une part à l'eau de source de la grande couche aquifère du Landenien et du Crétacé, d'autre part à l'eau du calcaire sous-jacent. Il signale deux positions qu'il *croit* plus favorables que d'autres pour l'établissement d'un puits à creuser dans le calcaire : soit à la cote 25, au sud et contre la ville, soit à Ramecroix, à la cote 40. Il prévoit des puits respectivement de 60 et 65 mètres de profondeur, continués horizontalement par des galeries de drainage de quelques centaines de mètres de longueur.

Je ne sais si M. Verstraeten s'est fait ici de grandes illusions sur les certitudes ou probabilités de débit de telles galeries creusées dans le cœur du massif calcaire à bancs réguliers, massifs et HORIZONTAUX, c'est-à-dire dans le dépôt, souvent compact et non fissuré en profondeur, qui dans les puits de l'*Asile des aliénés* et de l'*Hospice civil* a pu être foré sur respectivement 145 et 70 mètres d'épaisseur sans y trouver d'eau. Mais ce que tout le monde constatera avec moi, c'est que si les grandes quantités d'eaux que renferment et déversent parfois *localement* les calcaires ont le don d'hypnotiser souvent les auteurs de projets, ceux-ci ne laissent pas que d'être assez embarrassés lorsqu'il s'agit de fournir l'assurance que dans ce type spécial de terrains aquifères, la *pratique* correspondra toujours à leurs théories, et encore laissons-nous ici de côté l'importante question de la *qualité* de ces eaux.

Je ne veux pour preuve de ces difficultés que la phrase ci-dessous de l'exposé de M. Verstraeten (pp. 12-13 de sa brochure de 1888, sur les eaux de Tournai), phrase dont la seconde partie doit certes le gêner quelque peu pour l'aider à étayer sa théorie sur l'unité du régime hydrologique en terrain rocheux calcaire et en terrain perméable meuble.

Quant aux eaux du Calcaire, ce qui en a été dit précédemment suffit à montrer les QUANTITÉS IMMENSES d'eau que *des puits convenablement percés* sont susceptibles de produire. De règle de détermination préalable, il n'y en a pas : LE TOUT DÉPEND du choix de l'endroit, *des crevasses occupées et de la profondeur à laquelle le puisage s'effectue.*

Mais, mon cher confrère et contradicteur, en est-il bien de même dans les dépôts meubles, si aisément et si régulièrement bien drainés par vous, à Bruxelles et ailleurs? Reconnaissez donc que la *pratique* vous force ici à abandonner vos théories d'unification à outrance des régimes hydrologiques et à vous ranger à l'avis des géologues que vous combattez. Ils n'ont pas dit autre chose, en effet, que ce qui constitue *votre aveu* ci-dessus reproduit, par lequel nous clôturerons l'examen des questions controversées en matière d'hydrologie des calcaires rocheux.

Passons maintenant à l'hydrologie de la craie.

Hydrologie de la craie.

Je demandais tantôt où M. Verstraeten a bien pu puiser sa conclusion que de la vue de grosses sources s'échappant de la craie en Hesbaye; j'aurais inféré l'existence de CAVERNES dans le voisinage?

Je réitère ici cette question et je mets M. Verstraeten au défi de trouver un texte où j'aurais parlé de *cavernes* en relations avec des sources dans l'une ou l'autre de nos craies de Belgique. Je n'ai jamais fait allusion

qu'aux fentes, aux canaux et aux cavités servant de réseau circulatoire aux eaux souterraines de nos massifs crayeux et aboutissant soit à des sources naturelles, soit à des débouchés artificiels, comme les galeries et les puits que j'ai maintes fois visités au sein de la craie sénonienne de Hesbaye.

De l'examen de ces sources et venues d'eau, je n'ai donc jamais, malgré l'importance de certaines d'entre elles, induit l'existence de *cavernes* dans nos massifs crayeux, et par conséquent mon honorable contradicteur aurait pu s'éviter la peine de *repousser* la validité d'une *induction* qui n'a jamais existé, pas plus sous ma plume que dans ma pensée. Il aurait pu aussi s'épargner la démarche assez puérile de demander gravement à M le Directeur du service des eaux de Liège, s'il existe des *cavernes* dans la craie du massif drainé par les galeries! J'ai visité celles-ci naguère et me serais empressé de signaler de telles cavernes si elles y existaient.

Mais j'ai peut-être le tort de toujours perdre de vue qu'avec M. Verstraeten ce n'est pas dans le domaine *des faits* qu'il faut rechercher les éléments de sa controverse ni de la discussion scientifique!

Mais voyons maintenant quelles sont *ses réelles erreurs* d'appréciation, à lui, au sujet de la craie, de ses fentes, de ses cavités et de ses eaux. M. Verstraeten dit, pages 93-98 :

Sans doute peut-il se créer des cavités importantes et persistantes dans la craie, mais c'est à la condition qu'elle soit *résistante et dure*. Or, *tel n'est pas* CHEZ NOUS *le caractère habituel de cette roche*. Presque toujours elle est tendre, elle cède avec facilité aux moindres efforts d'écrasement, et pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une « *caverne* » avec les matériaux qu'elle fournit.

Si M. Verstraeten avait pu m'accompagner dans mes courses de levé de la Carte géologique détaillée de la région à sous-sol crétacé qui s'étend, principalement au nord de la Meuse, depuis Waremme jusque Tongres et qui est bordée au nord par le cours du Geer supérieur, il saurait qu'il existe, au moins dans ces régions étendues de la Hesbaye, des niveaux d'eau *localisés* en horizons paraissant multiples et variables, circulant dans des réseaux formant, au milieu de la masse crayeuse environnante, souvent peu aquifère, de véritables plans d'eau en circulation aquifère et sous pression. Ce qui maintient ainsi *localisées* ces nappes et les différencie de la nappe générale d'imprégnation, parfois réduite à presque rien dans certaines parties massives et peu fendillées du massif crayeux de la région considérée, c'est un facteur qui n'a pas été rencontré dans la région à craie plus homogène des galeries liégeoises.

Je veux parler de ces bancs durs et concrétionnés, à ciment siliceux et aussi parfois à nodules phosphatiques, que l'on appelle dans la région considérée la *tawe*. Les puisatiers de la partie occidentale et septentrionale du massif crayeux de la Hesbaye n'ont de meilleures ressources pour leurs

travaux ni de pire ennemi pour leurs outils que les *bancs tabulaires, continus et résistants* de la Tawe. Aussi quand ils arrivent au fond d'un puits ayant traversé la craie tendre et peu ou point aquifère (1), ils savent que presque toujours, après avoir vaincu cet obstacle, quand il existe, ils obtiendront l'eau en abondance. Le jaillissement est subit et témoigne de la pression de la nappe locale ainsi formée, qui, descendant au nord avec l'inclinaison générale des couches, constitue un véritable niveau artésien. Cette pression hydrostatique est telle que bien souvent après le bris ou la fracture de la *tawe*, les puisatiers doivent remonter aussi précipitamment que possible sous peine de noyade, accident qui est déjà arrivé.

Les *tawes* de notre massif crétacé de la rive droite du haut Geer et des plaines plus au sud (où on les rencontre parfois dans les exploitations de phosphate, mais plus rarement alors dans les mêmes conditions stratigraphiques et hydrologiques) sont identiques dans leurs caractères aux niveaux superposés de *tunis* de la région de Lille, si bien décrits par M. J. Gosselet dans leurs propriétés et localisations aquifères de même nature et caractère (2) que nos *tawes* de la Hesbaye.

C'est de ces nappes distinctes et superposées, localisées tantôt sous un banc de *tun*, ou englobées entre deux *tuns*, ou encore reposant sur d'autres bancs durs, tels que ceux appelés *meules* à Emmerin, par exemple, nappes toutes bien distinctes de la nappe générale d'imprégnation de la craie blanche fendillée; c'est de telles eaux, dis-je, que M. le professeur Gosselet fait remarquer, dans ses leçons de géologie, que « l'existence de » ces nappes aquifères superposées est souvent une cause d'étonnement » pour les personnes qui ne sont pas au courant de la structure géologique du sol ».

C'est d'elles aussi qu'il dit ailleurs (3), après les avoir successivement

(1) Si M. Verstraeten ignore qu'il y a parfois dans nos massifs de craie blanche des massifs compacts et non-fissurés, pour ainsi dire absolument dépourvus d'eau, je lui signalerai l'observation très précise faite dans le même sens par Belgrand lors du forage qu'il fit exécuter naguère à la Butte-aux-Cailles. Il y trouva, sur 10 mètres environ de profondeur, une couche de craie tellement compacte qu'on put la traverser sans épuisement; mais au-dessous de la cote — 10 mètres, il rencontra une fissure d'abord imperceptible qui, dans un parcours de 10 mètres, donna une quantité d'eau telle qu'on dut renoncer à l'épuisement et continuer le travail à la sonde. (*Hydraulique agricole et génie rural*, par A. DURAND-CLAYE, t. I, Paris, 1890, pp. 285-286.)

(2) *Leçons sur les nappes aquifères du nord de la France*, professées par M. J. GOSSELET à la Faculté des sciences de Lille en 1886-1887. Voir : *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XIV, 1886-1887, pp. 249-306. Voir aussi la reproduction de ces Leçons dans le tome II (1888) du *Bulletin de la Société belge de géologie*.

(3) *De l'alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France*, par J. GOSSELET. Rédaction d'une conférence de géologie appliquée donnée par l'auteur à la Société géologique de France. (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD, t. XXVIII, 1898, pp. 272-294.)

décrites, qu'il était bon d'*insister* sur ces nappes des régions de l'Escaut et de la Somme « pour montrer qu'il peut y avoir dans la craie *plusieurs* » *nappes superposées*, pouvant fournir des quantités d'eau considérables ».

Ceci paraît être une réponse topique, préparée d'avance pour M. Verstraeten qui, ignorant l'action isolante toute spéciale des *taves*, des *tuns* et des *meules*, et la *mise en pression* des eaux localisées qu'ils réfrènt et isolent, déclare en toute sérénité, en se basant uniquement sans doute sur ce qui passe dans la région des galeries liégeoises, qu'il n'existe dans la craie de Hesbaye qu'une seule et même *couche aquifère générale et ordinaire*.

Dans le nord de la France, comme en Hesbaye, nous trouvons donc en réalité des niveaux relativement minces, mais assez continus de craie, plus que « dures et résistantes », de véritables bancs rocheux à ciment siliceux, éprouvant l'outil à la percussion presque autant que nos quartzites primaires, du moins en Hesbaye, et sous le niveau de résistance desquels se sont creusés dans la craie, plus tendre et fissurée, sous-jacente, des chenaux importants, qu'élargit sans cesse le phénomène de corrosion dû aux agents dissolvants de l'eau.

La réunion et l'entre-croisement de ces canaux et fissures forment un véritable lacis aquifère, ou plan d'eau, maintenu *sous pression* sous ces plafonds résistants par suite de l'inclinaison générale des couches vers le nord et pourvu par conséquent d'une *force ascensionnelle*, augmentant graduellement vers le nord, où on l'observe fort bien, par exemple dans le fond du sillon d'érosion du Haut-Geer, où cette force ascensionnelle donne lieu à ce qu'on est en droit d'appeler de véritables *eaux artésiennes*.

Si M. Verstraeten ne connaît pas les *taves* de notre craie de Hesbaye et leurs propriétés et caractères aquifères, il paraît ne guère connaître non plus les profonds et solides puits non maçonnés, — véritables cavernes artificielles, sans clef de voûte encore, — creusés par milliers au sein de la craie blanche sénonienne de la région du Geer, craie qu'il s'imagine être toujours et partout « tendre et friable et cédant avec facilité aux moindres efforts d'écrasement ». A l'inspection de leurs parois, s'il y était, comme moi, maintes fois descendu en toute sécurité, il aurait sans doute changé d'avis et senti ses craintes s'évanouir. Mais nombreuses sont aussi les grandes et spacieuses *caves* véritables, creusées en plein massif de craie blanche sénonienne dans bien des villages de la Hesbaye pour la conservation des provisions et réserves d'hiver. Ce sont bien là des cavernes cependant, à voûtes crayeuses ou à piliers espacés, ouvertes sans crainte dans le massif crayeux, à l'instar d'ailleurs de ce qui se fait en grand dans le sous-sol crayeux de la Champagne, à Reims par exemple, où les immenses celliers à vin, établis souterrainement dans des roches identiques comme âge et comme nature à notre craie blanche sénonienne, font l'admiration et l'étonnement des touristes que l'on promène dans des 1,200 à 1,500 mètres de galeries ou grottes à voûtes crayeuses élevées.

Quant à nos misérables ancêtres néolithiques de Spiennes, dans le Hainaut, ils n'avaient pas, eux non plus, prévu l'opinion pessimiste de M. Verstraeten sur le peu de solidité de la craie, qui lui fait dire que « pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une *caverne* avec les matériaux que fournit la craie ». Ils ont bravement, en effet, se passant d'architecte et d'ingénieur, ouvert des puits et des galeries parfois assez étendues, ayant jusque 2 mètres de haut et 2^m,50 de large, dans la craie blanche dite de Spiennes, à silex gris brun, et, sans aucune mesure de précaution, ces primitifs ouvriers mineurs allaient ainsi hardiment chercher les rognons de silex dont ils avaient besoin pour confectionner leurs outils, sous 9 à 11 mètres du sol (1), par des puits et au sein de galeries non encore éboulées aujourd'hui après 50 à 60 siècles, et creusées au sein du massif crayeux. On a estimé de 20 à 25 *hectares* l'espace fouillé et rempli de *grottes préhistoriques* dans le massif crayeux du célèbre atelier de fabrication de Spiennes.

Mentionnons encore le *trou des Sarrasins* de Cibly, creusé dans un massif faillé qui, à une vingtaine de mètres de l'entrée, fait rencontrer la craie blanche de Spiennes derrière la craie phosphatée. Le but de ces galeries, longues et continues, établies dans le massif de Cibly, était le même qu'à Spiennes, et leur âge est également néolithique. Il eût suffi à M. Verstraeten d'ouvrir par exemple un ouvrage classique et bien connu sur la géographie du Hainaut, tel que le *Dictionnaire géographique* de Van der Maelen (Bruxelles 1833) pour s'y documenter comme suit sur la possibilité de voir des salles et des galeries importantes se maintenir dans la craie depuis *au moins* 5,000 et peut-être 6,000 ans.

Cette excavation, dit, en parlant du Trou des Sarrasins, le Dictionnaire précité (volume du Hainaut, p. 128), a une étendue de 12 à 1,500 mètres carrés : elle est formée d'une *suite de galeries, chambres ou salles*, séparées par d'énormes piliers destinés à soutenir les voûtes; *la hauteur de ces salles est ordinairement de 3 à 5 mètres*, guère au delà.

Lorsque, dans les temps modernes, on a utilisé le Trou des Sarrasins de Cibly pour l'extraction des silex employés en faïencerie, les déblais et travaux ont amené la découverte dans ces galeries préhistoriques et tout comme dans celles de Spiennes, d'outils en corne de cerf et de silex

(1) C. MALAISE, *Sur les silex ouvrés de Spiennes*. (BULL. ACAD. R. SCIENCES DE BELG., 2^e série, t. XXI, 1866, n^o 2, pp. 154-163) Voir spécialement pages 162-163 (âge erronément rapporté au paléolithique.)

A. BRIART, F. CORNET et A. HOUZEAU DE LEHAIE, *Rapport sur les découvertes géologiques et archéologiques faites à Spiennes en 1867*. (MÉM. ET PUBLIC. SOC. DES SCIENCES, ETC., DU HAINAUT, 3^e série, t. II, 1868.)

F. CORNET et A. BRIART, *Sur l'âge de la pierre polie et les exploitations préhistoriques de silex dans la province de Hainaut* (COMPTE RENDU DU CONGRÈS INTERN. D'ANTHROPOLOGIE ET D'ARCHÉOLOGIE PRÉHIST., 6^e session, Bruxelles, 1872, pp. 279-299, pl. 29 et 30.)

taillés abondants, et la preuve a ainsi été fournie de la haute antiquité de ces « grottes » préhistoriques.

Et ce n'est pas seulement dans la craie du Hainaut que l'on trouve ces antiques galeries, ces grottes artificielles non écroulées en général, après de si longs siècles. La *craie de Hesbaye* en fournit également un contingent, de même nature et de même âge. Il suffit, pour s'en assurer, de consulter les *Annales de la Société d'archéologie de Bruxelles* (1), qui contiennent un intéressant travail de M. le b^{on} *Alfred de Loë*, d'après lequel il existe à *Avennes*, sur la Méhaigne, « un centre important d'extraction et de taille du silex à l'époque néolithique, représenté par de nombreux puits mis en communication les uns avec les autres par *tout un réseau de galeries souterraines* » creusées dans la craie blanche. Ces galeries, établies dans une craie blanche terreuse, douce au toucher et dont la facilité d'écrasement et d'effritement eût certainement excité les craintes architecturales de M. Verstraeten, n'en sont pas moins depuis 50 à 60 siècles, restées parfaitement intactes et accessibles. Hautes de 0^m80 à 0^m90, elles atteignent par place une portée de 1^m65, et il a été facile aux explorateurs, après les avoir vidées de leurs éléments de remblayage partiel ancien, de les suivre sur une certaine longueur.

Dans la même région, d'autres cavités analogues, appelées *trous des Nulons* par les ouvriers, s'observaient à une profondeur de 4 à 5 mètres sous le sol ; elles avaient environ 1 mètre de hauteur sur 2^m50 et 3 mètres de largeur. Enfin, à Meeffe et à Braives, on a retrouvé les mêmes « grottes » préhistoriques, partout creusées sans crainte dans cette craie du massif hesbayen qui, dit M. Verstraeten, est presque toujours chez nous si tendre « qu'elle cède avec facilité aux moindres efforts d'écrasement et que pas un ingénieur ne risquerait la construction d'une « caverne » avec les matériaux qu'elle fournit ».

L'absence à Avennes des pics (?) triangulaires en silex, si abondants dans les exploitations préhistoriques de Spiennes et de Ciplly, fait croire à M. A. de Loë que les puits et galeries d'Avennes, qui lui ont fourni de nombreux silex taillés néolithiques : nucléus, haches, lames, etc., auront sans doute été creusés uniquement avec la *pioche en bois de cerf* et, comme on le voit, les « ingénieurs » primitifs de ces temps reculés ne craignaient donc pas d'ouvrir dans cette craie si tendre de Hesbaye des « grottes » ayant jusque 3 mètres de portée. Il faut convenir que les allégations de M. Verstraeten sur la résistance et la cohérence de nos craies belges se trouvent ainsi singulièrement battues en brèche !

Évitons toutefois d'exagérer la portée de ces faits ... de même que la

(1) Baron A. DE LOË. *Découverte et fouille de puits et de galeries préhistoriques d'extraction de silex, à Avennes (province de Liège)*. (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ D'ARCHÉOLOGIE DE BRUXELLES, t. VIII, 3^e livr., 1894.)

solidité des voûtes crayeuses dans les excavations souterraines, car M. Verstraeten pourrait tenter de nous rendre responsable de la mort de ce malheureux mineur préhistorique d'Obourg, dont M. Ém. De Munck (1) a retrouvé le squelette complet accompagné d'outils en bois de cerf, enseveli par un éboulement dans une de ces galeries creusées par lui dans un autre niveau de craie du Hainaut : la craie d'Obourg à silex noirs.

Je couvrirai toutefois ma « responsabilité » en faisant alors remarquer à mon honorable contradicteur que les mineurs préhistoriques de la région d'Obourg exploitaient principalement cette craie par le système des tranchées ouvertes, assez rarement mises en communication par des galeries souterraines, peu développées. Dans le cas si curieux décrit par M. De Munck, un coup de pic de la victime avait rencontré à la voûte un bloc de silex qu'il a déplacé et au-dessus duquel s'ouvrait un *puits naturel* sableux, dont les sédiments meubles ont alors accidentellement démantibulé la voûte et envahi la galerie où ils ont étouffé le mineur préhistorique, dont on a retrouvé le squelette entouré de blocs crayeux descellés de la voûte et de sable écoulé du puits. La galerie crayeuse n'est donc nullement, par un fait d'éroulement *initial*, cause de sa mort.

Pour remettre la question mieux au point que dans cette petite incurSION préhistorique à côté du point en litige, je dois faire remarquer que, dans la craie, la stabilité des cavités, grottes et caves *artificiellement* ouvertes par l'homme est souvent très compromise par le *mode d'attaque*, qui est la PERCUSSION et le CHOC, actions qui, par elles-mêmes, amènent la fissuration puis l'éroulement. Mais il n'en est plus de même dans le processus *lent et graduel* de l'agrandissement, par voie de *corrosion chimique*, des fentes, fissures et canaux parcourus par une circulation ininterrompue d'eau munie de pouvoirs dissolvants et agissant, par conséquent, sans chocs ni percussion, pouvant troubler la stabilité des cavités creusées en canaux disposés plutôt *en hauteur*, conformément d'ailleurs à l'allure générale des diaclases qui en sont l'origine.

Dans la craie de Hesbaye, je n'ai jamais rencontré de grottes ni de cavernes naturelles, et je pense qu'il ne s'y trouve guère que des canaux et des fissures élargies pouvant, dans certains cas, atteindre peut-être la dimension de *petits* couloirs étroits de cavernes, mais accessibles à de très fortes venues d'eau.

Dans la craie du Hainaut, il doit en être de même, d'après ce qui a été signalé au sein des massifs crayeux traversés lors de l'ouverture de puits de mine. Si M. Verstraeten interrogeait quelques anciens directeurs ou ingé-

(1) Voir compte rendu de la septième session de la Fédération archéologique et historique de Belgique. *Congrès archéologique et historique de Bruxelles* (1891). Séance du 5 août 1891 de la première Section. Communication de M. Ém. De Munck, pp. 250-252.

nieurs de mines du Hainaut, ayant eu à lutter naguère contre les terribles venues d'eau, parfois déversées à flots par le terrain crétacé, il changerait peut-être d'avis sur les dimensions à accorder à certains canaux aquifères de la craie. Notre vénéré et savant confrère M. l'ingénieur G. Lambert serait particulièrement en mesure, je crois, d'édifier M. Verstraeten sur ce point et de lui faire abandonner sa thèse d'après laquelle nos massifs crayeux belges seraient « simplement subdivisés par une infinité de *fissures minces* ».

Je me crois fondé à croire que M. Rutot et moi avons été beaucoup plus près de la vérité dans la conception du régime et du *dispositif* aquifères de la craie, quand nous nous sommes bornés, page 250 de notre Étude sur les galeries liégeoises, à parler

des crevasses et des fentes de la craie qui, grâce à la dissolution facile de la craie par les eaux en mouvement, peuvent s'élargir facilement et s'anastomoser en un véritable réseau où l'eau coule en ruisselets et en veines liquides à écoulement rapide.

Mais il y a une erreur que nous avons réellement commise, en 1887, M. Rutot et moi, dans notre exposé relatif aux galeries liégeoises, et je m'empresse de la reconnaître ici, heureux de montrer ainsi l'absence de tout parti pris d'amour-propre dans mon exposé.

Cette erreur est même double, car dans la phrase suivante, justement incriminée par M. Verstraeten, il y a, outre une erreur de mots (*lapsus* probable d'ailleurs, échappé à la correction typographique), une erreur plus sérieuse d'appréciation, qui réclame une rectification de notre part.

Nous disions, page 250, de notre Exposé :

Outre le niveau aquifère accentué *de la surface* de la craie, baignée par l'épaisse nappe arrêtée par l'argile hervienne, il est un autre niveau où la venue d'eau est également fort abondante. C'est la zone glauconifère, un peu sableuse ou grenue, qui recouvre immédiatement l'argile hervienne et qui forme la base de la craie blanche.

C'est ce niveau, où la venue et la circulation de l'eau sont facilitées par une plus grande perméabilité de la roche, qui fournit, surtout à l'ouest et au nord-ouest des plateaux qui dominent Liège, la nappe artésienne d'un certain nombre de puits favorablement situés.

En écrivant la première ligne du premier paragraphe ci-dessus, nous ne pouvions, la simple raison l'indique, avoir en vue dans les mots en italique, la *surface* du MASSIF de la craie, suivant la déduction de M. Verstraeten. Nous visions les *surfaces internes*, celle des FENTES et fissures de la craie, baignées par la nappe aquifère, et il eût été plus clair, plus correct, j'en conviens, de parler du niveau aquifère accentué, non de la surface, mais de *la masse* de la craie.

Mais ce qui constitue une réelle erreur de notre part, c'est d'avoir attribué à la ZONE SABLEUSE de *la base de la craie*, sous laquelle se trouve l'argile imperméable hervienne, ce que nous appelions la *nappe artésienne*

d'un certain nombre de puits favorablement situés à l'ouest et au nord-ouest des plateaux dominant Liège.

En réalité, la zone sableuse de la base de la craie n'a rien à voir avec ce niveau d'eau, qui, mes explorations pour le levé de la Carte géologique me l'ont renseigné ultérieurement, est tout simplement constitué par les eaux « jaillissantes » dont il a été question tantôt, que l'on rencontre, souvent localisées au sein de la craie blanche, et sous pression, maintenues par les couches plus ou moins continues et imperméables de la *tawe* intercalée à divers niveaux au sein du massif crétacé dans certaines parties du plateau hesbayen.

Si M. Verstraeten a protesté contre le qualificatif d'*artésiennes* que nous avons donné aux eaux qui jaillissent brusquement et en grande abondance au-dessus de la *tawe* percée, pour venir s'équilibrer parfois à de grandes hauteurs au-dessus, alors que la craie sus-jacente ne renfermait pas d'eau, c'est probablement parce que les données du problème étaient mal présentées par nous. Des eaux qui, comme nous l'admettions en 1887, eussent été obtenues de la base du massif d'imprégnation générale de la région des galeries et du nord de Liège et qui eussent été simplement plus abondantes au niveau sableux glauconifère de la base de la craie, ne pouvaient, en effet, avoir rien d'artésien. Mais il en est tout autrement des eaux localisées et *sous pression*, réfrénées et emprisonnées par le plan incliné *imperméable* de la *Tawe*, eaux artésiennes que nous avions *en vue* mais dont nous avons, en 1887, *méconnu la véritable origine*. En ce qui concerne ces eaux, je persiste absolument à les qualifier d'*artésiennes*, et ce notamment sur l'autorité de M. le professeur Gosselet, dont la compétence en la matière me paraît difficilement discutable.

Dans ses *Leçons sur les nappes aquifères du nord de la France* (*loc. cit.*), M. Gosselet, parlant des *puits artésiens*, dit qu'ils ont pour but d'aller chercher une nappe aquifère dont l'eau *s'élève plus haut que le point où on la rencontre*, et, à ce sujet, le savant professeur ajoute que la dénomination de puits artésien, telle qu'elle s'applique vulgairement à ceux de ces sondages où le liquide jaillit au-dessus du niveau du sol, *n'a rien de scientifique*. C'est cependant cette dernière qu'adopterait M. Verstraeten s'il persistait à contester aux eaux jaillissantes de dessous la *tawe* l'appellation d'eaux artésiennes.

Dans sa *Conférence* donnée le 11 juin 1900 à la Société géologique de France *sur le captage et la protection des sources d'eaux potables*, M. Léon Janet, ingénieur au corps des mines de France (1), fait observer que le nom de *nappes artésiennes* peut être mal compris, parce qu'on le réserve

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, t. XXVIII, 1900, n^o 5, pp. 532-548. Voir aussi la *discussion* qui a suivi, pp. 548-552.

souvent aux nappes susceptibles de donner un *jaillissement*. Tout en signalant comme préférable l'emploi de l'expression *nappes ascendantes* pour toutes celles indistinctement dont l'eau s'élève au-dessus de ses gisements dès qu'on a percé la couche imperméable supérieure, il se déclare disposé à adopter l'expression de *nappe captive*, nom proposé par M. Boursault et qui a l'avantage d'englober le cas où, retenue localement par la compacité accidentelle d'un massif empêchant l'eau de regagner son niveau piézométrique, elle y remonte brusquement, grâce à une fissure, par exemple.

Conclusions fournies par les deux premiers chapitres de l'annexe.

Si l'on récapitule maintenant ce qui précède, on reconnaîtra que pour l'hydrologie des terrains crayeux, aussi bien que pour celle des calcaires rocheux fissurés, il faut, AVANT TOUT, tenir compte de la *diversité des conditions géologiques*, et c'est certainement là une base d'appréciation qui a manqué souvent aux conceptions, d'un caractère trop général et rarement opportunistes, de M. Verstraeten, et c'est ce qui l'a fait s'égarer dans ses thèses d'unification, *absolument injustifiables*.

De même que le régime hydrologique des calcaires primaires restés en bancs réguliers et non fracturés donne lieu, pour les couches ou réservoirs aquifères souterrains, à des dispositions différentes suivant que ces bancs sont restés horizontaux ou sont obliques, et aussi suivant leur structure et degré de compacité; de même que le degré de contournement, de plissement et de fracturage tectonique de nos bassins de calcaires primaires belges, et de même enfin que la nature, la structure et le degré de tassement, de fendillement, d'origine et de composition de leurs couches donnent lieu à des *diversités considérables* dans le régime aquifère local ou régional et dans les caractères hydrologiques de ces massifs : de même aussi l'eau ne se conduit pas dans la craie partout de la même façon, et ce sont là des données *primordiales*, qui paraissent avoir échappé complètement à mon honorable contradicteur.

Ainsi dans les parties centrales du vaste massif crétacé du bassin de Paris, il semble, d'après des constatations récentes, qu'il n'existe *parfois* qu'un réservoir unique d'imprégnation; les eaux n'y paraissent point partout localisées par zones ni par niveaux distincts. Il en est tout autrement, nous l'avons vu, dans le nord de la France, où M. Gosselet a nettement montré qu'une absolue *localisation* est la règle générale des couches aquifères, séparées et superposées au sein de la craie, où retenues par divers niveaux de craie durcie et concrétionnée, connus sous le nom de *tuns*, elles deviennent jaillissantes lorsqu'elles sont artificiellement libérées par forage.

C'est la même localisation des réserves aquifères, constatée dans la craie des régions du nord-ouest de la Hesbaye qui donne lieu, dans la contrée au sud du Haut-Geer, aux belles veines et aux circulations liquides localisées qui se montrent en relation avec nos *taves*.

Enfin, cette même localisation des cavités et des réseaux aquifères, dans certains niveaux seulement de la craie, s'observe également d'une manière frappante dans le bassin de Londres (1), et l'on est en droit de s'étonner que M. Verstraeten ne soit pas mieux au courant de ces données pratiques bien connues.

Il aura sans doute trouvé plus facile, étant donné ce fait réel que le phénomène de localisation des réseaux aquifères de la craie du Haut-Geer diminue d'intensité et disparaît même vers la région des galeries alimentaires de Liège, de nier simplement ces diverses manières d'être des réserves aquifères de la craie. Cependant le bassin de Londres, le bassin de Paris et le département du Nord fournissent des exemples connus de cette diversité de caractères, si opposée à la thèse d'unification et d'existence universelle de massifs d'imprégnation générale, défendue par M. Verstraeten.

(1) Voir les suggestifs détails fournis, après visite sur les lieux, par M. l'ingénieur P. Van Ysendyck dans son *Compte rendu de la Session annuelle extraordinaire de 1899 de la Société belge de géologie dans le bassin de Londres et dans la région du Weald*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOLOGIE, t. XIII, 1899, *Mém.* pp. 267-306.) Voir spécialement, pages 285-289, le compte rendu des cinquième et sixième journées, signalant les travaux de la *East London Water Work Co* qui, au *Lea Bridge Station*, a fait creuser dans la craie blanche supérieure un puits descendu à 200 pieds sous le sol. Toute une série de galeries rayonnantes horizontales, subdivisées à leur tour, s'embranchent au fond de ce puits. Le but et l'espoir d'un tel genre de travail est de rencontrer dans la craie, ici assez compacte et peu fissurée, et ne fournissant guère qu'un peu d'eau de suintement, une heureuse *fente aquifère* pouvant ultérieurement remplir tout le réservoir ainsi créé.

Parfois le système réussit. Au puits du *Lea Bridge Station* on a vainement, à cette profondeur de 200 pieds, cherché une crevasse aquifère et, après avoir créé un développement de plus d'un demi-kilomètre de galeries crayeuses ne produisant guère que de l'eau de suintement ou des venues insuffisantes, il fallut se reporter à une quinzaine de mètres *plus haut* dans le massif crayeux. A 150 pieds du sol un nouveau dispositif rayonnant de galeries horizontales fut creusé et, après l'obtention d'un second réseau de 670 mètres de galeries, on tomba enfin sur la fissure aquifère tant cherchée. L'eau est alors remontée à 35 pieds du sol, remplissant les deux réservoirs superposés, et le débit peut dépasser 13.000 mètres cubes par vingt-quatre heures. La fissure rencontrée après tant de recherches en divers sens, n'était donc qu'une *rivière souterraine* circulant, localisée, au sein du massif crayeux.

On voit combien ce régime aquifère *localisé* de la craie du bassin de Londres s'accorde peu avec la thèse généralement appliquée par M. Verstraeten à tout terrain fissuré : crayeux ou calcaire rocheux.

Les régions calcaires de Han-Rochefort et celles du Bocq et du Hoyoux, par rapport à l'opinion des « maîtres de la science » sur le régime aquifère des calcaires. Arguments supplémentaires fournis par la région de Remouchamps.

Il a été dit plus haut que le texte de la seconde partie de l'exposé fait par M. Verstraeten, à la séance du 11 mai 1897, n'a pas été joint par l'auteur au document présenté par lui pour l'impression dans notre *Bulletin*. Cette seconde partie était intitulée : *Opinion des « maîtres de la science » et rôle de l'ingénieur en matières hydrologiques*. On la trouve exposée tout au long dans la version primitive et complète de sa « Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck », que M. Verstraeten a fait imprimer dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand* (t. XXI, 1^{re} livraison de 1898).

La suppression de cette partie du texte de mon honorable contradicteur dans la version destinée à notre *Bulletin*, prouve que l'auteur a jugé qu'elle ne serait pas à sa place dans un recueil spécialement géologique... et nous ne pouvons que partager cette manière de voir.

Si, dans l'intérêt scientifique du débat engagé, je réponds ici non aux personnalités, mais à la thèse qui s'y trouve défendue, c'est que je considère comme un devoir de ne rien négliger pour apporter la lumière dans les questions controversées dans ce domaine si important des applications pratiques de l'hydrologie des calcaires et dans la mise en relief du rôle prépondérant qu'y doivent jouer les études et les connaissances géologiques.

En dehors de ces querelles de mots et de certaines confusions assez étonnantes dans l'interprétation des phrases et des extraits fournis par nous, d'après les maîtres de la science, tout ce que l'on trouve comme *argument* dans la revue critique que fait M. Verstraeten des textes et des passages des géologues et des spécialistes cités par nous, peut se résumer ainsi :

Tous les textes cités sont relatifs à l'*étranger* et même à des régions *lointaines*; ce que disent et ce que pensent ces auteurs du mode de circulation des eaux dans les massifs calcaires ne concerne donc pas le débat. Ont-ils parlé, ces auteurs qu'on m'oppose, ont-ils seulement connaissance des *régions calcaires du Hoyoux et du Bocq* d'une part, et de la *région Han-Rochefort*, d'autre part ?

Non, assurément. Eh bien alors, ce qu'ils disent de la circulation de l'eau dans les calcaires ne signifie rien dans le présent débat, localisé

à des régions déterminées, débat dont j'entends cependant généraliser les conclusions.

Ce raisonnement, mon honorable contradicteur l'a trouvé si commode, si péremptoire, qu'il l'a complaisamment reproduit *une demi-douzaine de fois* (voir pp. 22, 24, 26, 28, 29 et 31 de l'extrait du travail de Gand) dans son exposé critique, dont il constitue d'ailleurs le principal *Leitmotif*.

Signaler ce procédé de discussion me dispense largement de relever point par point — ce que je suis cependant prêt à faire ultérieurement — la phraséologie et les « arguments » de M. Verstraeten, qui tient absolument, semble-t-il, à faire mettre *hors la loi universelle de l'hydrologie des calcaires*, les massifs calcaires belges précités.

Mais ces régions du Bocq, du Hoyoux et de Han-Rochefort, voyons un peu, en conscience, si par un élément *quelconque* elles se différencient des divers cas universellement reconnus au sein des calcaires.

Pour ce qui concerne la région Han-Rochefort, il suffit, pour obtenir une réponse péremptoire à la question ici posée, de parcourir la superbe *monographie* que M. Éd. Dupont (1) a publiée dans notre *Bulletin* sur cette région calcaire. On y constatera sans peine que les cheminements souterrains, les localisations, pertes et réapparitions, sous formes de sources, d'eaux courantes et de bien d'autres phénomènes encore : aiguigeois, chavées ou vallées sèches, etc., constituent une merveilleuse illustration, en Belgique, pour ces calcaires devoniens, de tout ce que les maîtres de la science ont dit et exposé du régime aquifère des calcaires.

De même, cette conclusion nous est confirmée par l'excellent compte rendu fait par M. le commandant J. Willems de notre session extraordinaire de 1893 (2), consacrée à l'hydrologie des calcaires belges.

Cet auteur montre (pp. 300-338), d'accord avec l'exposé de M. Dupont, que la région calcaire de Han-Rochefort constitue *un véritable type classique*, fournissant de multiples exemples des données exposées par les géologues éminents que M. Rutot et moi avons eu la satisfaction de pouvoir citer à l'appui de nos vues.

Paraissant ignorer ou négligeant simplement l'accord général d'idées professées par ses divers contradicteurs et toutes en opposition, dans *leurs éléments essentiels*, avec sa thèse à lui, M. Verstraeten s'attache à mettre dans un relief exagéré certains *points accessoires* de divergences, n'ayant, en réalité, guère de portée ou *aucune influence* sur le fond du débat.

(1) ÉD. DUPONT, *Les phénomènes généraux des cavernes en terrains calcaireux et la circulation souterraine des eaux dans la région Han-Rochefort.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VII, 1893, pp. 190-297, pl. XII et XIII, et fig. 8.)

(2) J. WILLEMS, *Compte rendu de la Session extraordinaire de 1893, du 4 au 9 août.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VII, 1893, pp. 298-378, 2 planches et 17 figures.)

Et il conclut hardiment que les géologues sont *profondément divisés* dans leur manière de comprendre le régime aquifère des calcaires. Et il en conclut aussi que si certains se sont trompés en quelques points au sujet desquels M. Rutot et moi pensons autrement que d'autres, en Belgique..., c'est *nous* qui devons avoir tort!

De ce que M. Dupont, par exemple, généralise un peu trop, assurément, ce qu'il a vu et *bien vu* dans la région de Han-Rochefort, c'est-à-dire l'absence de nappes générales d'imprégnation dans ces calcaires devoniens; de ce qu'il fait jouer un rôle certainement très exclusif à l'action chimique de corrosion qui, dans la région considérée, paraît certainement l'emporter de beaucoup (1) sur l'érosion mécanique; de ce que, enfin, M. Dupont s'exagère la compacité générale et l'impénétrabilité relative des massifs calcaires sous une faible profondeur, M. Verstraeten exulte triomphalement. Il ne s'aperçoit point que ce sont là de minimes défauts d'une solide cuirasse, qui ne lui reste pas moins nettement opposée et invulnérable. Il cherche à faire croire au lecteur bienveillant que la région calcaire de Han-Rochefort échappe à la synthèse générale et classique, qui est la nôtre, à M. Rutot et moi, qui est celle de MM. Stainier et Willems et de bien d'autres encore, au sujet du régime aquifère des calcaires, dont la dite région constitue en réalité un *merveilleux et topique exemple*, véritablement classique, surtout depuis les exposés détaillés de MM. Dupont et Willems!

M. Verstraeten ne semble guère se douter que notre manière de voir, à mes collègues précités et à moi, est tellement justifiée, qu'elle est, depuis nombre d'années, enseignée à tous comme *classique*, elle aussi, dans le cours de géologie appliquée, donné par M. le professeur M. Lohest à l'Université de Liège.

Passons aux régions calcaires du Hoyoux et du Bocq.

Dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (2),

(1) Voir E. RAHIR et J. DU FIEF. *De l'action chimique des eaux courantes dans les cavernes, ou dans les grands canaux souterrains*, travail présenté à la séance du 15 janvier 1901 de la Société belge de Géologie et destiné au tome XV du *Bulletin*. Dans cette étude, les auteurs montrent, par la combinaison de jaugeages avec des analyses, que le travail de *corrosion chimique* qui s'opère dans les galeries souterraines, longues d'environ 2 kilomètres, que parcourt la Lesse dans la *grotte de Han*, représente une ablation de 3^{kr},48 par minute de matières solides enlevées aux parois de la grotte. En admettant l'identité d'énergie des agents chimiques pendant toute l'année, l'enlèvement des matières dû à cette seule cause, matières dont le calcaire constitue une grande partie, représenterait près de *un million huit cent quatre-vingt mille kilogrammes*. Multipliées par l'ACTION DES SIÈCLES, font judicieusement remarquer les auteurs, ces actions purement dissolvantes ne réclament donc pas toujours le concours des actions mécaniques pour expliquer la formation d'immenses cavités au sein des calcaires que traversent des eaux souterraines en mouvement.

(2) TH. VERSTRAETEN, *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL. ETC., t. VIII, 1894, pp. 141-165.)

publié dans notre *Bulletin* en 1894, M. l'ingénieur Verstraeten s'est, avec raison, semblerait-il, élevé contre l'exagération de l'évaluation, faite par une ancienne Commission technique déléguée à cet effet, de certains *débîts de sources*, dans la région de Modave, sur le Hoyoux, et que l'on se proposait de capter. D'assez sensibles erreurs auraient été commises (1) dans le calcul des jaugeages, établis d'après le procédé dit par déversoirs. Des jaugeages ultérieurs, faits par empolement, auraient, pendant une période de sécheresse, ne l'oublions point, fourni des résultats bien moindres.

Soit; cette critique d'ingénieur à ingénieur, faite par un spécialiste compétent, peut être plus ou moins fondée; mais en admettant même qu'elle ne soit pas exagérée, elle n'atteint en rien les géologues ni le principe de leurs vues, absolument indépendantes de tout ceci.

M. Verstraeten rappelle ensuite ce qu'avait, avant lui, montré M. Putzeys : à savoir que l'importance de certaines crues anormales ou accidentelles du Hoyoux, et dont les promoteurs des premier projets techniques de dérivation paraissent ne s'être pas doutés, devait rendre inexécutables, ou tout au moins condamnables en pratique, certains dispositifs de captage, primitivement proposés pour l'aménagement des sources du Hoyoux, dans la région de Modave.

Voilà les faits matériels dont l'exposé forme la note dominante de l'étude de M. Verstraeten sur l'hydrologie des calcaires du Hoyoux et du Bocq; ils se réduisent donc à la critique et à la mise au point par M. l'ingénieur Verstraeten de travaux ou de thèses d'autres ingénieurs et hydrologues en ce qui concerne des questions techniques de *systèmes de jaugeages* et de *dispositifs de captage* et... c'est tout (2). Cela suffit cependant, paraît-il, non seulement pour infirmer l'excellent et judicieux exposé (3), présenté le 23 janvier 1894 par M. l'ingénieur Putzeys, ingénieur des eaux de la ville de Bruxelles, et consacré aux sources de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq. Qu'importe à M. Verstraeten que cet exposé, que signeraient volontiers *tous les géologues compétents* en matière d'hydrologie des calcaires, soit absolument conforme à tout ce que nous enseignent la science et l'expérience des spécialistes. Il suffit à mon honorable contradicteur

(1) Cependant, dans un rapport présenté à la Commission communale des eaux par M. V. Besme, inspecteur voyer, qui a effectué à Modave, à la demande de la Commission intercommunale des eaux, des jaugeages de vérification, l'auteur réfute la portée exagérée que l'on a donnée aux critiques émises au sujet des premières séries de jaugeages faites à Modave, et il maintient, comme un minimum assuré, les chiffres obtenus en 1889, soit un rendement de 9^{m3},6 à l'hectare-jour, quoi qu'en disent MM. Verstraeten et consorts.

(2) Voir cependant, pour la question complémentaire des *serrements*, également abordée par M. Verstraeten, la mise au point que j'ai fournie dans ma *Note additionnelle* n° 2 pour cette troisième critique technique.

(3) E. PUTZEYS, *Les sources des vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq. Étude hydrologique.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VIII, 1894. Procès-Verbaux, pp. 6-42.

d'avoir rencontré les deux points techniques spéciaux ci-dessus indiqués pour lui permettre de donner cours à ses hypothèses hydrologico-géologiques et de donner tort à tous ceux qui ne pensent pas comme lui.

Mais des deux points critiqués par M. Verstraeten, l'un ne faisait que rééditer un exposé critique déjà fourni précisément par M. Putzeys dont M. Verstraeten combattait d'autres vues; quand à l'autre, relatif au *débit des sources*, il a une portée d'ordre scientifique qui le fait rentrer dans notre domaine et va nous permettre d'examiner si ces critiques ont une portée sérieuse.

Le promoteur du projet de dérivation des sources de Modave et ensuite l'ancienne Commission de jaugeage des sources émergeant dans la vallée calcaire du Hoyoux, auraient donc annoncé, par suite de l'emploi d'une méthode discutable de jaugeage, des débits qui, pour la période pluvieuse de 1885 à 1889 (1), ont été signalés erronément comme pouvant s'élever au chiffre considérable de 11 mètres cubes à l'hectare-jour, et ne tombant pas sous 9^m3,6. M. Verstraeten conteste ces chiffres. Fort bien, mais il n'en reste pas moins établi et *définitivement acquis* que les jaugeages de précision, « rigoureux », dit M. Verstraeten lui-même, effectués en 1892 et 1893 et par empotement, remplaçant l'ancien dispositif critiqué, ou par déversoir, fournirent encore 7^m3,18 et 6^m3,51 à l'hectare-jour (2).

Les sources des régions supérieures du Hoyoux pendant les mêmes années *sèches* 1892 et 1893 fournirent respectivement, pour la superficie totale du bassin superficiel considéré, 6^m3,26 et 5^m3,80, chiffres s'élevant, pour la superficie calcaire, à 9^m3,40 et à 8^m3,62 à l'hectare-jour.

Quant aux sources de la vallée du Bocq, à l'amont de Spontin, elles fournirent pendant la même période sèche, et suivant que l'on considère la superficie totale ou la surface du calcaire, respectivement, pour ces deux années, 5^m3,35 et 5^m3,12, et enfin 11^m3,80 et 11^m3,40 ! (3).

(1) Sauf l'année 1887, exceptionnelle parmi ses voisines et plutôt sèche.

(2) Ces chiffres *doivent* être admis par M. Verstraeten, car ils sont établis sur les données énoncées ou reconnues exactes par lui-même dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. VIII, 1894; PROCÈS-VERBAUX. pp. 141-165.) A la page 142 de ce travail, M. Verstraeten admet pour le bassin hydrographique du Bocq, à l'amont des sources du parc de Modave « une superficie de 8,906 hectares ». Or le même auteur admet comme absolument fondés, les chiffres d'un débit quotidien de 64,000 mètres cubes pour 1892 et de 58 000 mètres cubes pour 1893. La conséquence de ces données, fournies par lui-même, est bien de nous faire obtenir respectivement pour les années *sèches* 1892 et 1893 un rendement « à l'hectare-jour » de 7^m3,18 et de 6^m3,51.

(3) Voir l'intéressante étude de M. l'ingénieur *Walin*, très documentée sur cette question des jaugeages et intitulée : *Étude sur le régime hydrologique, sur l'importance et la nature des eaux dans les terrains calcaires du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VIII, 1894. Procès-Verbaux, pp. 90-119.)

M. Verstraeten ne peut s'empêcher, malgré ses critiques sur les chiffres moins « rigoureux » des premières séries de jaugeages effectués à Modave, de considérer les résultats *indiscutés*, ci-dessus énoncés, comme **tout à fait exceptionnels** (p. 157, § 6), et il se livre à un travail de pluviométrie comparée et rétrospective, tendant à introduire, l'un après l'autre, une série de coefficients de réduction dans ces débits, de périodes sèches cependant, dont l'énormité gêne visiblement sa thèse.

De réduction en réduction *théorique*, il en arrive (p. 158) *a priori*, à admettre comme *prévision* de minima absolu, en période sèche *prolongée*, les chiffres de 5^m et de 4^m,25 à l'hectare-jour, respectivement pour le Hoyoux et pour le Bocq. Ses réductions *théoriques* ne sont pas minces, puisque, pour les sources de Modave, le résultat de jaugeages « rigoureux » et restés *incontestés* a fourni des chiffres correspondant, pour 1892 et 1893, — années sèches — aux produits de 7^m,18 et 6^m,51 à l'hectare-jour (1).

Or, malgré les laborieuses séries de réductions de M. Verstraeten, celui-ci en est encore réduit à se demander (p. 158) *comment s'expliquent des chiffres dépassant si fortement le chiffre de 4 mètres cubes* « que nous étions habitués à considérer comme applicable seulement aux bassins les mieux constitués du pays ».

Cette explication si logique, qu'il se refuse à trouver tout simplement dans le *régime aquifère spécial des calcaires* et dans les *courants circulatoires souterrains à grandes distances* (2), il la cherche péniblement dans cinq raisons, qu'il énumère. Il en rejette trois et en accepte deux, assez accessoires (basées sur le degré normal d'abondance des pluies dans la région considérée et sur l'état très absorbant de son sol), alors que le motif *principal* lui échappe complètement.

Nous lui avons cependant naguère, M. Rutot et moi, fourni celui-ci en exposant la thèse si simple et si naturelle des communications souterraines à grandes distances et par conséquent du rôle des *empiètements souterrains* des réserves aquifères des calcaires, pouvant alimenter les

(1) M. Verstraeten se garde bien de mettre en évidence, en les fournissant dans son exposé critique, ces *chiffres élevés*, qui sont cependant la résultante immédiate des rendements qu'il admet comme justifiés par rapport au nombre d'hectares considérés. (Voir la note 2 de la page précédente.)

(2) Déjà, en 1873, M. Éd. Dupont, dans son article : *Orologie, de Patria Belgica*, fournissait de ceux-ci un exemple topique, observé en Belgique.

« Entre Ciney et Dinant, dit M. Dupont, à Jaulevant, existent de grands amas » d'argile au contact des calcaires et des psammites. Un étang naturel, qui se trouve » en cet endroit, n'est dû qu'à la présence sous-jacente du filon d'argile. Il y a » quelques années, on se mit à exploiter le minerai de fer subordonné à ce filon et à » le laver dans l'étang. *Peu de temps après*, une fontaine d'un débit assez important, » qui alimente un quartier de Dinant et dont la limpidité n'avait jusqu'alors laissé » rien à désirer, *commença à donner de l'eau trouble*, quoiqu'elle fût *éloignée* de » 7 kilomètres de Jaulevant. »

sources dans des limites géographiques dépassant de beaucoup la périphérie des bassins hydrographiques superficiels.

Comme je l'ai fait remarquer en 1890 (1) avec force détails et faits précis à l'appui (débit du torrent de Bonne, etc., dans la région du Hoyoux), les dispositions très spéciales de nos multiples plis allongés calcaires du Condroz, qui, souterrainement, passent indifféremment *au travers de deux ou trois bassins hydrographiques superficiels* auxquels ils servent de *collecteur commun*, justifient admirablement la thèse que j'ai défendue du rôle hydrologique de l'empiètement souterrain des calcaires. Que tout lecteur impartial examine avec soin la carte géologique d'André Dumont et essaie ensuite de trouver matière à critique dans les phrases suivantes qu'elle m'a inspirées :

On ne pourrait mieux comparer cette disposition qu'à celle d'une immense pieuvre renversée, (2) dont les tentacules, armés de nombreux suçoirs, seraient étalés en deux séries de bras parallèles étendus de droite et de gauche : les *bras de la pieuvre* représentant les *bandes calcaires* et les *suçoirs* les mille et une *fissures absorbantes* du calcaire. De cette disposition, il résulte que le bassin hydrographique souterrain des calcaires est *infinitement plus étendu* que le bassin superficiel de la vallée du Hoyoux, et tel est le motif précis, incontestable, de l'énorme quantité d'eau que déversent les sources qui, comme celles de Modave, constituent le déversoir naturel de ce gigantesque système de drainage souterrain. L'étendue des réservoirs calcaires ainsi drainés fournit l'explication normale du débit des sources signalé comme supérieur aux ressources que la proportion d'eau infiltrée, calculée d'après les chutes pluviales du bassin hydrographique superficiel du Hoyoux, permettait d'admettre.

Et que parvient à opposer à cette thèse mon honorable contradicteur ? Quelles données scientifiques, quels faits précis fournit-il à l'appui de son opposition ?

Tout simplement la trop grande *majoration* des débits fournis par les anciens jaugeages, comme si cette question d'*EXAGÉRATION de quantité*, en présence du fait avéré, avoué par M. Verstraeten, des *énormes débits RÉELS fournis par les jaugeages de vérification* de 1892 et 1893, pouvait infirmer en quoi que ce soit ma thèse du rôle de l'empiètement des bassins calcaires passant sous forme de fonds de bateaux, en rangées parallèles, à travers le sous-sol de bassins hydrographiques superficiels contigus !

On voit bien que, malgré ses dénégations, M. Verstraeten est hanté par l'idée, qui s'impose malgré lui, de l'empiètement aquifère efficace des bassins calcaires ; car, parlant de l'action drainante réciproque possible des bandes calcaires du Bocq et du Hoyoux, il est forcé de faire ce demi-aveu, dans lequel je me borne à souligner quelques mots suggestifs :

(1) E. VAN DEN BROECK, *Les sources de Modave et le projet du Hoyoux, considérés au points de vue géologique et hydrologique.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. IV, 1890. Procès-Verbaux, pp. 180-189.

(2) Cet adjectif complémentaire avait été omis dans l'impression originale.

Or, si d'une part M. Moulan a reconnu des *rendements considérables* du côté du Hoyoux, d'autre part M. Walin en a observé de *tout aussi extraordinaires* du côté du Bocq. Il y aurait donc tout au plus *action réciproque* ?

Mais après la constatation des produits unitaires *exceptionnels* des calcaires du Hoyoux, on a trouvé des produits *plus exceptionnels encore* pour les calcaires du Bocq. Ce seraient donc plutôt ces derniers qui draineraient les autres ?

Mais M. Verstraeten, que l'on s'attend à voir tirer ici une conclusion logique de ces constatations, met brusquement fin à ses perplexités en écartant d'emblée la conséquence naturelle de ces phénomènes et il dit, avec une belle simplicité : « Ce n'est pas ainsi que j'entends conclure. »

Cela ne m'étonne nullement. Conclure en bonne logique, d'après ce que montre ici l'*évidence des faits* et en présence de ces divers débits *exceptionnels* et *extraordinaires* des sources de nos divers massifs calcaires, serait, de la part de M. Verstraeten, fournir un peu plus qu'une grave objection au *parallélisme* qu'il cherche à établir entre les rapports directs de la chute pluviale et de l'étendue des bassins apparents, ou superficiels, avec le débit des sources, qu'il s'agisse indifféremment de massifs calcaires fissurés ou de bassins à dépôts meubles.

La conclusion, si simple et si universellement admise, que le débit des sources du calcaire est généralement *indépendant* des éléments précités et se trouve en rapport direct avec l'extension, la facilité de communications et les dimensions des canaux aquifères localisés, et aussi avec le rôle et l'importance de certaines réserves (1) accumulées au sein des massifs calcaires ; cette solution, dis-je, échappe complètement à M. Verstraeten et ne parvient pas même à illuminer ses étonnements en face des constatations précises qu'il est forcé d'avouer (2).

Le voilà cependant, inconsciemment dénoncé par lui, le régime aquifère des régions calcaires BELGES que M. Verstraeten s'obstine à opposer comme *un cas d'exception* au régime aquifère des massifs calcaires signalé

(1) M. Martel, qui est de tous les spécialistes celui qui a vu le plus de faits dans les profondeurs des massifs calcaires, a eu maintes fois l'occasion de constater l'existence, dans des cavités et dans des fentes élargies servant de réservoirs localisés au sein des calcaires, de nombreux *siphonnements*, clef de bien des phénomènes hydrologiques autrefois inexplicables. Suivant les *oscillations* de certains niveaux d'eaux, suivant l'importance de *certaines crues souterraines*, il s'effectue des amorçages et des désamorçages de ces réserves aquifères, munies de dispositifs rocheux siphonnants, et les phénomènes inexplicables d'énormes débits spéciaux temporaires de certaines sources en massifs calcaires s'expliquent ainsi très aisément. Un jour viendra, je l'espère avec M. Martel, où l'on admettra la fréquence de pareils cas dans le régime aquifère des terrains rocheux calcaires.

(2) Voir, dans la seconde partie de la NOTE ADDITIONNELLE n° 2, les *importantes conséquences* de cette conclusion sur le peu de valeur, sur l'*absence de valeur* même, qu'il faut attribuer aux mirages que constituent en réalité les chiffres de PRÉTENDU RENDEMENT à l'hectare-jour dans le cas des calcaires plissés et redressés.

par les géologues et les spécialistes les plus autorisés de tous pays.

Et ce n'est pas seulement le régime des sources qui aurait pu l'éclairer. M. Verstraeten se retranche derrière les constatations des *nivellements* que MM. les ingénieurs François et Walin ont effectués dans divers massifs calcaires. Il se sert alors de l'avis contradictoire fourni par M. Dupont qui, dans la région devonienne Han-Rochefort, n'a pas constaté de nappe d'imprégnation. Si M. Dupont, pas plus que M. Martel et bien d'autres, n'admet en principe, dans les calcaires, de nappes plus ou moins analogues à celles des dépôts meubles, il n'en est pas toujours de même pour M. Rutot et pour moi qui, d'accord en cela avec MM. Boursault et Willems, admettons la possibilité, dans certains cas, — celui de nos bassins carbonifères du Condroz, avec calcaires *localisés* et en *fonds de bateaux* — de réserves aquifères présentant, à part le phénomène de *discontinuité générale* propre aux eaux des calcaires, à peu près les allures des nappes régulières, et drainées par les vallées, de nos bassins à dépôts meubles.

Nous acceptons donc comme souvent fondés et réels les nivellements de niveaux aquifères assez étendus dont parle M. Verstraeten pour certains massifs calcaires, et qui, dans le cas schématisé par la figure du bassin calcaire localisé, représenté page 396, sont fournis par la rencontre, par puits, de la ligne piézométrique du niveau d'eau C C. Mais cela ne constitue qu'une partie — la plus profonde et la plus inaccessible aux travaux comme aux puits — d'un régime hydrologique, que complète très efficacement le dispositif à *circulation localisée* D D (voir même figure) et si bien représenté dans la figure de M. Stainier (voir p. 399), alors que pour M. Verstraeten et ses lieutenants il n'y a guère à considérer dans les calcaires que ce cas du réservoir aquifère A, B B, (fig. 1) qu'il se figure, bien à tort, être si général, alors qu'il faut les dispositions régionales, toutes spéciales et si peu répandues ailleurs, de nos calcaires carbonifères du Condroz pour en amener l'existence.

Grande est cependant l'erreur de M. Verstraeten quand il croit que le nivellement, qu'il nous oppose, de telles nappes dans les calcaires lui fournirait toujours les mêmes allures, les mêmes résultats que dans le cas des bassins à dépôts meubles. Les facteurs relatifs à la *direction* et à la *localisation* des apports aquifères y interviennent pour créer des ANOMALIES par rapport à ce qui se constate dans la disposition des nappes en dépôts meubles. Je ne citerai comme exemple que le cas, nettement décrit dans le compte rendu d'excursion du commandant Willems (*loc. cit.*, pp. 355-356, fig. 12 et 13), du nivellement de trois puits assez voisins, creusés dans le calcaire à Purnode (vallée du Bocq), où la pente de la nappe aquifère est manifestement *inverse* à celle du terrain.

D'autres nivellements, exécutés par M. l'ingénieur Walin et relatifs à la région du Bocq, à Spontin, se trouvent également fournis pages 356 et 388 et figures 14 et 15 dans le même compte rendu de M. Willems. S'ils ne

môntrent pas la même inversion de pente que dans le cas précédent, les *irrégularités d'allures* des ressources aquifères rencontrées, montrent à l'évidence, aux yeux les moins clairvoyants, que l'on ne peut que « se fourvoyer » en adoptant la thèse si peu justifiée de M. Verstraeten, au sujet de l'identité de caractères et d'allures des nappes des deux grands types de terrains perméables : rocheux calcaires fissurés et sédimentaires meubles.

Le même compte rendu de M. Willems fournit pour la région calcaire de Dinant et pour certaines de ses sources (p. 343), de même que pour les sources de Vyle, dans la vallée du Hoyoux (p. 370), des données précises, montrant que, dans les massifs calcaires, à côté de sources utilisables, ou non inquiétantes pour l'alimentation des populations, il en est de condamnables absolument; ce qui est aussi différent du cas général des dépôts aquifères meubles. Enfin, le même compte rendu expose des données fournies par M. Walin (pp. 365-368), d'après lesquelles on ne semble pas devoir attribuer au régime hydrologique de nos calcaires *carbonifères* les mêmes caractères que ceux reconnus dans celui de nos calcaires *devoniens*. D'ailleurs le régime de grottes, de cavités et de cassures tectoniques, du calcaire devonien, surtout bien développé dans les grands replis et contournements d'allures que décèle fort bien le simple examen de la carte, ne paraît pas avoir son équivalent structural dans notre calcaire carbonifère. Cet exposé de M. Walin est parfaitement exact et justifié par les faits, et toujours les éléments de *différenciation* s'imposent dans l'étude de la présente question.

L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES DE LA RÉGION DE REMOUCHAMPS.

Avec la région Han-Rochefort, nous avons affaire aux *calcaires devoniens* du bord *méridional* du bassin de Dinant. Avec les vallées du Hoyoux et du Bocq, nous étions dans le *calcaire carbonifère* formant la région *centrale* de ce vaste bassin primaire. Si, maintenant, nous nous transportons vers l'extrémité *orientale* du même bassin, nous y trouvons les calcaires *devoniens* de la région de l'Amblève, qui, aux environs de Remouchamps, par exemple, sont encore plus démonstratifs, peut-être, que les précédents, au point de vue des multiples phénomènes de la circulation aquifère souterraine et de la localisation en eaux courantes remplaçant les nappes générales d'imprégnation des dépôts meubles.

Déjà la carte *topographique* de cette région montre un phénomène étrange à première vue, mais que la carte *géologique* (voir fig. 4) fait comprendre de suite, grâce à la présence d'une large et sinueuse *bande calcaire devonienne*, sur les bords de laquelle se passe le phénomène dénoncé par la carte topographique. De chaque côté d'une vallée sèche, c'est-à-dire dépourvue de tout cours d'eau, si minime qu'il soit, on voit s'arrêter brusquement, après un certain parcours dirigé vers ladite vallée,

seize à dix-sept ruisseaux permanents, dont les eaux se perdent donc, invariablement, sous terre *au contact du calcaire*.

Ce sont les menues branches d'un arbre dont le tronc liquide et les

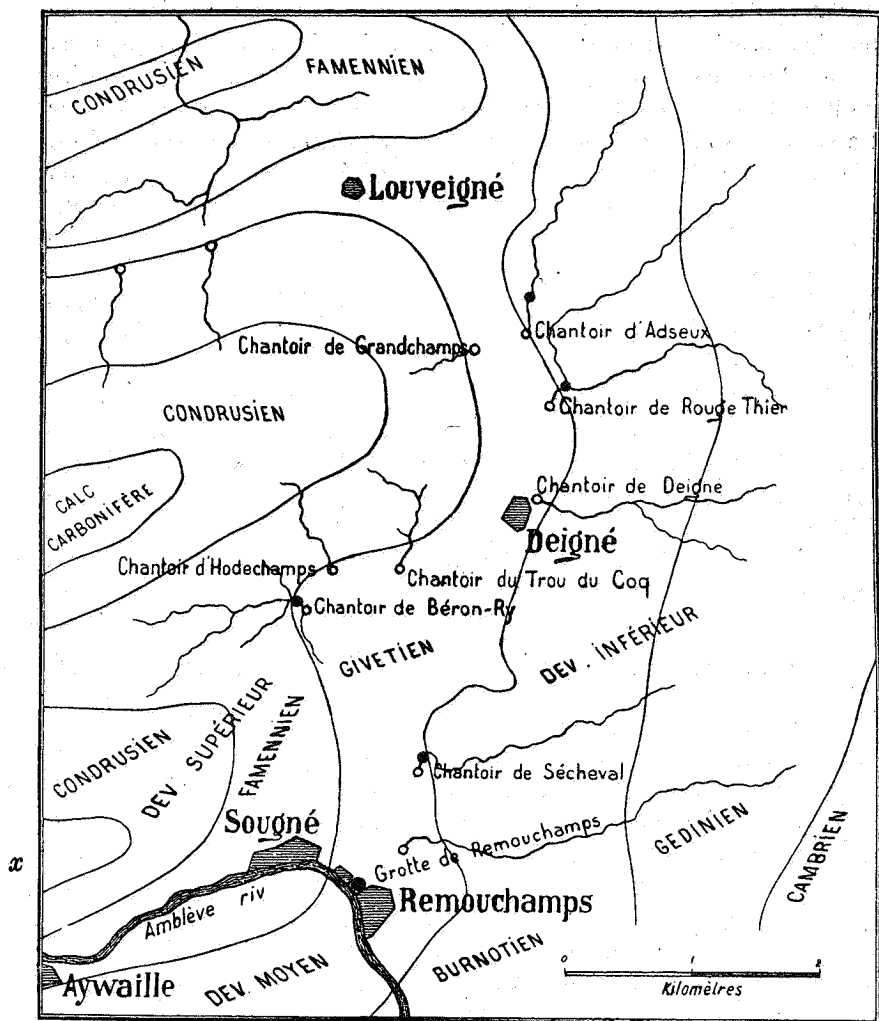


FIG. 4. — Le vallon des Chantoirs, à Remouchamps, dans le calcaire de Givet du Devonien moyen. (x x représente l'orientation de la coupe du calcaire devonien figurée plus loin.)

maîtresses branches coulent souterrainement au sein du massif calcaire, lequel, en hiver, absorbe également, de la même manière, des centaines de traînées d'eaux de ruissellements temporaires, descendant des deux

flancs opposés de la vallée sèche, appelée vallon de Sècheval, ou mieux *vallon des Chantoirs*, d'après quelques pittoresques points d'engouffrement, déjà connus des touristes, et où disparaissent, dans le sein du calcaire, quelques-uns des ruisseaux permanents de la région.

Dans le croquis ci-dessus, très sommaire (fig. 4), sont figurés seulement les *principaux* de ces ruisseaux et, pour représenter plus facilement les seules grandes lignes de la géologie régionale du pays, je m'en suis tenu à l'ancienne interprétation synthétique de la carte d'A. Dumont.

Je compte *monographier* quelque jour cette remarquable vallée des Chantoirs, dont j'ai déjà dit quelques mots en 1898 (1), vallée qui s'étend, sur huit kilomètres environ, depuis la région de Louveigné jusqu'à la *grotte de Remouchamps*, dont l'ample rivière souterraine constitue le superbe exutoire d'un vaste réseau de ruisseaux cachés. J'ai déjà pu reconnaître, étudier et cataloguer plus d'une *centaine* de ces chantoirs ou aiguigeois, points d'introduction souterraine des eaux superficielles, les uns permanents, les autres temporaires, et ceux-ci sans cesse variables en nombre et en position.

Dans un seul cirque d'effondrement calcaire de cette intéressante région, dépression sans doute causée par des éboulements de salles souterraines inexplorées, et même insoupçonnées, j'ai pu compter jusque *TRENTE-TROIS points d'absorption* des eaux superficielles, les uns en fonction, les autres anciens et bouchés.

Déjà, grâce à la fluorescéine, j'ai pu apprécier certaines durées de parcours souterrains, toujours en convergence vers la rivière souterraine de la grotte de Remouchamps, et bien d'autres constatations ont pu être faites qui annoncent que, lorsque mes études dans ces parages seront terminées, *le vallon des Chantoirs* de Remouchamps et sa grotte, déjà célèbre, fourniront un merveilleux apport, absolument confirmatif de la grande synthèse générale, aujourd'hui classique dans la science, du régime aquifère si spécial aux massifs rocheux calcaires.

La figure 5, ci-dessous, montre d'une manière *sommaire*, mais caractéristique, la disposition du calcaire devonien : givetien et frasnien, de Remouchamps (Givetien de Dumont) et de son régime aquifère souterrain.

C'est une coupe *de la partie centrale*, suivant la ligne d'orientation *x z*, de la carte fournie par la figure 4, coupe ayant pour but de montrer la disposition en profondeur du massif calcaire devonien du *vallon des Chantoirs*, flanqué, par-dessous, de l'ensemble des couches quartzo-schisteuses couviniennes et burnotiennes, constituant l'ancien étage burnotien de Dumont, recouvert, au-dessus, par les schistes imperméables de Frasnes et de la Famenne, réunis par Dumont dans son *Famennien*, sous-jacent à

(1) E. VAN DEN BROECK, *Sur la rivière souterraine et sur la grotte de Remouchamps. Note préliminaire sur ses niveaux à silex et à ossements d'âge paléolithique.* (BULL. SOC. D'ANTHROPOL. DE BRUXELLES, t. XVII, 1898-1899, pp. 128-144.)

son *Condrusien*, ou terme quartzo-schisteux servant lui-même de substratum à un bassin de Calcaire carbonifère.

Comme le but du présent exposé et celui de la carte et de la coupe qui précèdent n'ont rien de spécialement stratigraphique et que c'est seulement le côté *pétrographique* de la question qui est ici envisagé, j'ai cru bien faire de ne pas compliquer l'esquisse géologique de la figure 4, ni surtout la coupe transversale de la figure 5, par l'adjonction des éléments stratigraphiques détaillés et nouveaux, que les études et les levés de MM. H. Forir et P. Fourmarier ont apportés à l'ancienne interprétation plus synthétique d'A. Dumont, à laquelle se bornent mes figures. Il convient toutefois de noter que le massif BURNOTIEN de Dumont englobe ici en réalité, dans sa région occidentale, voisine du calcaire, une certaine épaisseur de poudingue, de schistes, de grès, de calschistes et de psammites, constituant un horizon quartzo-schisteux, actuellement rangé dans le *Couvinien* et faisant par conséquent partie, avec les calcaires givetiens, du Devonien moyen. Envisagées aux points de vue pétrographique et hydrologique, les seuls en question ici, ces couches couviniennes, avec leur poudingue de base P' (sans doute plus continu que sur la figure), ne forment qu'un ensemble homogène avec le Burnotien proprement dit.

De même, le calcaire givetien *in globo*, tel que le comprenait Dumont et tel qu'il est figuré ici d'une manière homogène, doit se subdiviser dans la région des chantoirs, comme généralement ailleurs, en deux massifs calcaires : l'un, inférieur (en A' sur la figure 5), correspondant au calcaire à Stringocéphales et à Murchisonies (*Gva* de la légende de la Carte); l'autre, supérieur (en A dans la figure 5), qui est le calcaire noir et gris, en bancs épais, dit calcaire de Givet, à Stromatoporoïdes et à Polypiers. Ces deux assises calcaires du Givetien sont séparées par un dépôt de schiste et de calschiste, accompagné d'un très mince niveau psammitique; le tout non représenté ici (fig. 5), vu l'échelle minime de la coupe et vu le peu d'importance pratique que doit présenter, au point de vue hydrologique, cette zone localisée de différenciation pétrographique dans la région considérée. Ces calschistes, attaquables, quoique moins que le calcaire massif et pur, ne peuvent guère faire obstacle à la circulation des eaux; après la dissolution du calcaire, m'écrit M. H. Forir, qui les a étudiés lors de ses levés géologiques dans la région de Remouchamps, ils se désagrègent, s'éboulent et sont entraînés par les ruisseaux souterrains. Rien ne dit même que cette assise, dans ses zones internes décomposées, ne fournisse pas l'une ou l'autre artère importante parmi les canaux du lacis fluvial souterrain du vallon des Chantoirs.

Si l'on continue à se placer au point de vue strictement stratigraphique, il convient d'ajouter que la grande muraille calcaire, dite givetienne, constituant le calcaire eifelien de Dumont, englobe encore, dans sa partie supérieure (en A' dans la figure 5), le développement irrégulier et discontinu

d'un calcaire spécial, d'origine organique, actuellement distingué sous le nom de calcaire de Frasne et que sa faune a fait séparer du Devonien moyen, pour constituer la base du Devonien supérieur. Stratigraphiquement donc, la zone A'' du Givetien figuré dans la coupe ci-dessous (fig. 5) et aussi une certaine épaisseur des schistes, base du Famennien, tel que l'entendait Dumont, constituent ensemble l'étage *frasnien*, base du Devonien supérieur. Mais comme, en réalité, le calcaire frasnien A'' n'est séparé du véritable Givetien calcaire A que par un lit schisteux qui, dans la région considérée, ne dépasse pas un mètre d'épaisseur (1), on est en droit, dans un exposé comme celui-ci, de considérer et de figurer seulement les grandes masses du terrain, divisées par leurs éléments de *différenciation pétrographique*. L'âge des couches et leurs affinités stratigraphiques deviennent tout à fait accessoires, en effet, au seul point de vue qui nous intéresse ici.

Ces réserves faites, reprenons l'examen des éléments à étudier au point de vue hydrologique.

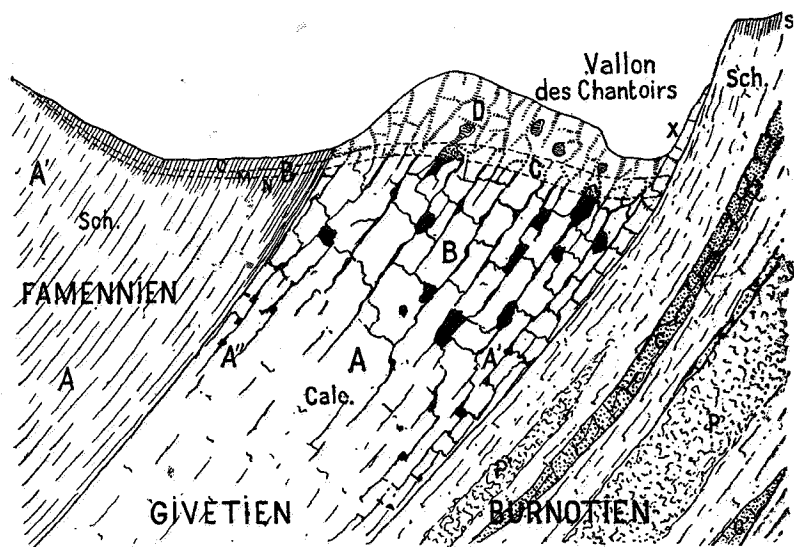


FIG. 5. — Coupe transversale de la région centrale devonienne passant par le vallon des Chantoirs, au nord de Remouchamps (suivant la ligne *x x'*).

LÉGENDE DÉTAILLÉE DE LA FIGURE 5, DONT LES TRACÉS, TOUTEFOIS, NE REPRÉSENTENT QUE L'INTERPRÉTATION SYNTHÉTIQUE DE LA LÉGENDE DE A. DUMONT.

Dans cette figure, les abréviations *Calc.* et *Sch.* correspondent respectivement au calcaire couvinien, givetien et frasnien et aux schistes frasniens, famenniens, couviniens

(1) Près des chantoirs de Béron-Ry, cette couche schisteuse n'a plus même que 0m,60, m'écrit M. H. Forir, et elle disparaît complètement plus au Nord.

et burnotiens qui l'entourent. Ceux-ci, toutefois, en **G** et **G'**, ainsi qu'en **P** et **P'**, montrent des niveaux intercalés de grès et de poudingues. Sans m'être occupé, pour ceux-ci, de chercher à reconstituer le détail exact de la structure du massif « burnotien » de Dumont, j'ai supposé, en **G'** et en **P'**, des bancs gréseux et de poudingues n'arrivant pas en affleurement au sol du plateau, et, pour cette raison, je les ai indiqués comme *non aquifères*.

Les traits noirs accentués — certains, trop peut-être — dans la partie **A**, inférieure du massif calcaire central, représentent, en coupe transversale, le réseau des canaux et des cavités aquifères, surtout développés en **B**. La figuration en *pointillé* de la zone **C** du calcaire représente la zone de fluctuation normale saisonnière du remplissage des canaux et des cavités du calcaire par les eaux en mouvement de ce *dispositif circulatoire localisé*. Le figuré spécial en *grisé* de la zone supérieure **D** du calcaire représente des fissures, des canaux, des cavités et des *grottes*, qui, normalement, même aux périodes saisonnières de débit maximum, restent à sec et sont vides, ou bien sont bouchés par du limon.

L'intensité des corrosions du calcaire au contact des schistes n'a malheureusement pas non plus été rendue par le dessinateur conformément au modèle fourni et cette partie du figuré doit être un peu accentuée dans ce sens.

La curieuse dalle calcaire **X** appliquée contre le massif schisteux de droite constitue simplement un phénomène local et accidentel, résultant de la préservation, justement sur le passage de la coupe, d'un ou deux bancs calcaires couviniens particulièrement résistants.

Toute la masse, soit en profondeur (**A**), soit sur les hauteurs (**A'**), des schistes famenniens et frasniens est imperméable et non aquifère; la région superficielle et délimitée **B** est seule aquifère, par imprégnation d'eaux d'infiltration venant de la surface.

N représente la zone d'imprégnation plus ou moins permanente, ne descendant d'ailleurs qu'à une minime profondeur; **M** correspond à la zone d'oscillation saisonnière ou accidentelle (à la suite de ruissellements temporaires) de la réserve aquifère, et **O** représente la masse la plus superficielle des feuilletts schisteux délités, vides, mais servant à amener en **MN** les eaux pluviales.

Si l'on passe au massif schisteux couvinien et burnotien, substratum du calcaire givétien, on y remarque, par contraste avec ce qui se passe dans le schiste famennien, que c'est par suite de l'hétérogénéité lithologique du dit massif que l'on y constate, en profondeur, l'existence d'un dispositif aquifère rappelant, mais sur une moindre échelle, celui du calcaire. Bien entendu, la disposition des bancs figurés de grès et de poudingue **G**, **G'** et **P**, **P'** est ici absolument quelconque, faute de recherches faites dans ces parages non calcaires: elle n'a d'autre but que de montrer que les cassures comme les joints des bancs gréseux ou psammitiques peuvent, dans une certaine mesure et quand ils sont en communication (comme en **G** et en **P**) avec les régions d'affleurement, fournir des ressources et des écoulements aquifères. Ceux-ci sont même suffisants, dans certains cas et dans divers niveaux stratigraphiques, si les bancs de grès sont nombreux et développés, pour permettre d'y trouver des ressources sérieuses en eaux alimentaires.

Le même phénomène d'imprégnation aquifère s'observe très fréquemment à la surface des poudingues, d'ailleurs souvent en connexion avec des bancs gréseux. Dans la figure 5 on voit, tout en haut, en **S**, la minime localisation des schistes couviniens et burnotiens délités qui, dans leurs zones superficielles et d'affleurement, peuvent, tout comme les schistes frasniens et famenniens, s'imprégner, à minime profondeur, d'eaux d'infiltrations pluviales, à moins, toutefois, qu'un recouvrement argileux d'altération et de décomposition *in situ* n'y fasse obstacle.

Revenant à la coupe (fig. 5) de la partie centrale de cette région, on y constate que le calcaire givetien ne présente nullement ici, comme c'est le cas pour le calcaire carbonifère du Condroz dans le bassin de Dinant, la disposition *en cuvettes allongées*, limitées en profondeur, à bords relevés latéralement et enserrées de toutes parts dans un berceau quartzo-schisteux, qui lui-même passe plus bas au schiste imperméable.

Ici, comme ailleurs sur d'énormes étendues de la bordure devonienne des bassins de Dinant et de Namur, le massif calcaire givetien forme comme une large muraille, aux assises redressées, régulières et parallèles, s'enfonçant obliquement à une très grande profondeur dans le sous-sol, où cette assise calcaire, qu'accompagne souvent le calcaire frasnien, est pressée des deux côtés par des massifs schisteux imperméables. L'élément BASSIN disparaît, *au point de vue hydrologique*, par suite des énormes profondeurs et des distances séparant les régions d'affleurement des bordures méridionale et septentrionale devoniennes de chacun des deux grands bassins de Namur et de Dinant. Pratiquement et au point de vue du régime aquifère, l'énorme périphérie de la bordure calcaire givetienne de ces deux grands bassins primaires de la Belgique peut être considérée comme représentant le cas d'une muraille assez continue de calcaire, fissurée et corrodée vers le haut, compacte et peu aquifère en profondeur, enserrée par deux autres murailles parallèles de sédiments imperméables.

Il va sans dire que cette disposition doit forcément amener l'établissement d'un régime aquifère TOUT AUTRE que celui des *cuvettes calcaires* du terrain carbonifère dans le bassin de Dinant (cas nullement général d'ailleurs, mais partiel dans les régions du Bocq et du Hoyoux).

Abandonnant ces généralités, cependant très utiles à noter, pour revenir au *vallon des Chantoirs* de Remouchamps, nous constatons, par la coupe à l'échelle proportionnelle (1) de la figure 5, que les massifs schisteux, l'un burnotien, l'autre famennien, qui enserrant ici le massif calcaire givetien, s'élèvent tous deux, surtout le premier, à des altitudes plus grandes que celles du calcaire au sein duquel se creuse le vallon des Chantoirs.

Les nombreux ruisseaux descendant des régions latérales, schisteuses et imperméables, et qui disparaissent subitement sous terre au contact de la bande centrale et déprimée calcaire (2) doivent forcément, pour y continuer souterrainement leurs cours et donner ainsi naissance à une

(1) Le relief des hauteurs du sol est exagéré au triple des altitudes comparatives réelles.

(2) Vers le Sud, c'est-à-dire dans la région voisine de Remouchamps et de sa grotte, le massif calcaire a partiellement échappé à l'érosion dans sa portion occidentale (voir fig. 5) et le sillon d'érosion du vallon y est assez étroit; mais partout au nord de la coupe transversale figurée, c'est-à-dire dans la région de Deigné et de Louveigné, l'ensemble du massif calcaire se présente sous forme d'une légère *dépression* générale, coïncidant avec le sillon formé par le vallon.

vallée sèche, trouver, sous le sol rocheux qui les engloutit, tout un lacis de fissures et de cavités communicantes et permettant leur facile circulation souterraine. C'est ce que montre la coupe que j'ai représentée dans la figure 5.

On peut admettre, en se basant sur de multiples cas analogues, constatés *de visu* dans des exploitations minérales, qu'*au contact* des schistes d'âges divers avec le massif calcaire intercalé, celui-ci, par suite de l'infiltration plus accentuée et de l'accumulation des eaux descendant le long de ces murailles obliques et imperméables du schiste, réfractaire à la corrosion, a dû être, en ces régions de contact, plus fortement attaqué qu'ailleurs, à cause de la concentration de l'action chimique sur la paroi calcaire. L'action dissolvante des eaux d'infiltration et de circulation souterraine a dû ainsi, en ces zones de surface calcaire, y amener un fort développement de canaux et de cavités aquifères (la fig. 5, tout en le montrant en A' A'' n'accroît pas assez cette forte corrosion au *contact immédiat* des schistes).

Quant aux parties centrales du massif calcaire, considérées à partir d'une certaine profondeur, disposées en bancs réguliers et parallèles, peu ou point sujettes, sans doute, à ces accidents de tectonique si développés ailleurs dans les massifs calcaires, ployés, fracturés et disloqués, elles doivent ici être restées homogènes, compactes et étroitement soudées (voir fig. 5, en A) en même temps qu'elles sont, ici, très généralement, privées de failles et de cassures. L'isolement de cette masse calcaire centrale A entre les deux lits schisteux, dont nous avons parlé précédemment, n'est peut-être pas étranger non plus à cette différenciation.

A part quelques joints, peut-être restés plus au moins ouverts au sein de ces massifs étroitement soudés en profondeur, on peut difficilement se refuser à reconnaître — pour le cas ici étudié comme exemple de ce qui se passe dans la bordure calcaire givetienne de nos deux vastes bassins de Dinant et de Namur — que la régularité et la compacité en profondeur du massif devonien considéré doivent contrarier la formation *en profondeur* de ces nappes ou réservoirs aquifères, bien développés parfois, jusqu'à un certain point — et seulement lorsque se présente le cas de fissuration accentuée et continuée en profondeur — dans certains des bassins calcaires carbonifères du Condroz.

C'est à cette conclusion rationnelle d'absence de nappe qu'était arrivé M. Éd. Dupont dans son étude des calcaires de la région de Han-Rochefort.

Ici non plus, sous le vallon des Chantoirs de Remouchamps, nous ne saurions raisonnablement admettre l'important réservoir aquifère statique ou, à l'état de passivité et d'immobilité, la *nappe aquifère* notable qu'il a été possible de concéder ailleurs et d'y vérifier parfois, mais dont M. Verstraeten a le grand tort de vouloir faire un cas très général en Belgique.

Si l'on étudie avec soin ce qui doit normalement se passer, au point de vue HYDROLOGIQUE, au sein du massif calcaire du *vallon des Chantoirs*, on y reconnaîtra aisément trois ou plutôt quatre zones superposées et distinctes, mais dont les plus supérieures se relient en un même dispositif complexe et variable, qui n'est mis en action, dans son entièreté, que par des phénomènes intermittents ou plus au moins périodiques et saisonniers.

Je vais rapidement analyser, ci-dessous, cet intéressant régime aquifère d'un très important type de disposition calcaire dans notre pays. Il existe encore trois ou quatre autres types de dispositions géologiques amenant chaque fois de sensibles modifications dans le régime aquifère de nos calcaires belges. J'y reviendrai à loisir dans une étude ultérieure, dont certains éléments me manquent encore au point de vue expérimental.

Régime hydrologique du calcaire givetien, étudié dans le vallon des Chantoirs, à Remouchamps.

Nous reportant au plan (fig. 4), puis à la coupe (fig. 5) du vallon des Chantoirs, nous constatons qu'à une grande profondeur, on trouve la zone A pour ainsi dire privée d'eau dans cette région à bancs homogènes, compacts et étroitement soudés, que ne dérangent ni failles ni cassures, d'autant plus que ces bancs ne sont nullement englobés dans la région de ploiement d'un *synclinal* ou d'un *anticlinal* et ne font pas partie ici d'un massif tourmenté ni bouleversé. S'il y a, dans ces profondeurs, quelques joints plus au moins aquifères, ils ne peuvent être bien nombreux.

Sur les faces latérales, base et sommet du massif calcaire, en contact avec les schistes qui l'enserrent, l'habituelle zone de corrosion et de dissolution de tout calcaire en contact avec un massif peu ou point soluble sous l'action des eaux d'infiltration, fournit — comme le montre la figure 5 — les zones A' et A'' contenant un lacis, s'accroissant de plus en plus vers le haut, de canaux et de cavités aquifères et contenant sans doute des eaux à circulation restreinte et très de faible vitesse de renouvellement.

Plus haut, en B, on arrive graduellement à un développement de canaux, de fissures élargies et parfois de cavités noyées dans le lacis aquifère développé à ce niveau. Ce réseau, sorte de *delta souterrain*, très fortement développé en longueur sous le thalweg du *vallon des Chantoirs*, constitue le drainage souterrain des dix-sept ruisseaux tributaires de la vallée sèche superficielle.

C'est l'une des maîtresses branches ou, peut-être, le tronc principal de ce delta souterrain qui, un peu plus en aval vers Remouchamps, est visible et accessible sur plus de 500 mètres dans la grotte de ce nom, où la rivière souterraine ainsi formée a reçu le nom de Rubicon. Les eaux de cette zone B doivent offrir le phénomène d'une circulation active, rapide même, bien que non directe, c'est-à-dire avec siphonnements, retenues

locales et dispersion latérale : les expériences de fluorescéine que j'ai commencées dans la région des chantoirs en font foi (1).

Le niveau C, représenté dans la figure 5 entre deux lignes pointillées, constitue la zone d'oscillation verticale du dispositif aquifère B, et l'on s'explique aisément d'ailleurs l'existence de variations saisonnières et temporaires du niveau des eaux en mouvement au sein du réseau fissuré et caverneux B, C, par suite du contraste des *débites du delta fluvial souterrain* en hiver et en été, ou bien, accidentellement, à la suite de pluies d'orages, etc. Les fluctuations de débit de *ces eaux courantes* souterraines sont ici indiquées en *minimum* et en *maximum* normal par les lignes pointillées enserrant la zone C.

Le débit minimum constituant la surface de la zone B est directement en relation avec le débit minimum des dix-sept ruisseaux tributaires de la vallée sèche dite des Chantoirs.

Le débit maximum *ordinaire*, indiqué par la ligne pointillée supérieure de la zone C, est fourni par l'accroissement hivernal de déversement des ruisseaux permanents se jetant dans le sous-sol de la vallée sèche et par le concours temporaire de ruisseaux supplémentaires tarissant en été. Ce débit maximum est en relation aussi avec des phénomènes accidentels ou périodiques, tels que les fontes simultanées de neige survenant dans tout le périmètre du bassin que drainent les ruisseaux tributaires de la vallée sèche et, enfin, tels que les ruissellements, en temps de pluie et surtout d'orages, des eaux qui ne peuvent s'infiltrer dans les *schistes gedinniens*, *coblentziens*, *burnotiens*, *couviniens*, *frasniens* et *famenniens* de l'énorme contrée à sol imperméable dont la *vallée des Chantoirs* constitue alors le seul exutoire. Seuls les rares bancs de poudingues et de grès (P et G) *affleurant au plateau* peuvent absorber une très minime partie de l'énorme masse de ces eaux de ruissellement.

Ces eaux, ainsi accumulées et glissant à la surface du sol, sont bien forcées de dévaler alors vers les pentes latérales de la dépression et de s'y perdre par les centaines de points d'engouffrement *temporaires* qui existent en dehors des grands chantoirs classiques de la région, et dont

(1) Il en est de même des expériences faites avec de la paille coupée, qui ont indiqué la présence de voûtes mouillantes souterraines, de siphonnements ne laissant pas passer des objets flottants.

La fluorescéine, elle, qui passe avec toute la masse de l'eau qu'elle colore, a montré une marche souterraine assez lente témoignant des nombreux détours, ralentissements et subdivisions de passage que l'eau de ces ruisseaux souterrains doit subir. Ainsi le chantoir de Sècheval est situé, à vol d'oiseau, à 1 kilomètre seulement de la sortie du *Rubicon* à la grotte de Remouchamps, et la fluorescéine a mis neuf heures pour accomplir le trajet souterrain correspondant à cette courte distance.

Dans la grotte même, la fluorescéine versée en amont du ruisseau souterrain, le *Rubicon*, a mis *une heure et quart* pour arriver au jour à la sortie, soit pour parcourir un peu plus de 560 mètres, dont la majeure partie en cours visible.

plus de cent déjà ont été reconnus et catalogués lors de mes premières recherches d'il y a quelques années.

La zone D représente l'épaisseur du massif calcaire parcourue par les canaux, fissures et cavités, dont seulement *un très petit nombre*, en temps ordinaire, et correspondant aux ruisseaux *permanents* qui s'y engouffrent été comme hiver, servent de canaux de circulation courante aux eaux qui de la surface vont alimenter les ruisseaux souterrains des niveaux B ou BC suivant la saison. L'immense majorité de ces canaux est vide en temps ordinaire ou obstrué par des cailloux ou par du limon amenés par les ruisseaux et par les déversements d'eaux superficielles ruisselantes.

Mais il arrive aussi parfois que des pluies torrentielles résultant d'un violent orage donnent lieu à de telles précipitations, pour ainsi dire instantanées, et dont le flot est animé d'une telle vitesse, que le réseau des canaux, crevasses et cavités des zones BCD ne peut suffire à recevoir l'afflux exceptionnel des eaux ainsi accumulées. *Alors seulement* on voit apparaître dans le thalweg du vallon un gros cours d'eau *extérieur*, s'y étalant dans un lit d'autant plus large et plus anormal que les précipitations atmosphériques ont été plus abondantes et plus générales dans le bassin.

Un fait terrifiant, survenu au printemps de l'année 1859, et qui a laissé de vivaces souvenirs chez de nombreux habitants du pays, a fourni l'occasion d'observer une calamité qui a transformé, pendant quelques heures, tout le régime hydrologique du vallon des Chantoirs. Une trombe d'une très grande violence a ravagé, le 17 mai 1859, toute la région d'amont, spécialement celle à sol schisteux couvinien, burnotien, coblenzien et gedinnien du flanc orientâl du vallon. La phase intensive du phénomène n'a pas duré plus d'une demi-heure, mais les paquets d'eau qui, pendant une heure environ, se sont abattus sur ce sol imperméable, furent tels que, en un rien de temps, tout le réseau souterrain des zones B, C et D du massif calcaire fut complètement débordé, et, dès lors, une trombe d'eau ruisselant de toutes parts des flancs imperméables de la vallée, suivant toute sa longueur, s'accumula en un véritable fleuve torrentiel temporaire, submergeant tout sur son passage. Au rétrécissement rocheux qui avoisine la région de la grotte de Remouchamps, c'était comme un torrent impétueux qui s'élevait à plus de 2 mètres au-dessus de la route, causant les plus effrayants dégâts et dont, notamment, la noyade de cent cinquante moutons et de plusieurs vaches emportés par le courant, à Deigné, en amont de Remouchamps, fut l'un des lamentables épisodes (1).

(1) Une femme et son enfant, surpris à Deigné par le fleuve instantanément créé dans le paisible vallon des Chantoirs, furent emportés par le courant jusque dans l'Amblève, à plusieurs kilomètres de distance, mais, heureusement accrochés à une épave résistante, la mère et son bébé purent être sauvés après une dérive effrayante.

C'est à la femme Marie-J. Hallet, la belle-mère du garde forestier Toussaint Leclercq, qui m'a servi de guide dans la région, que l'accident est arrivé.

Il semble, au premier abord, que l'on pourrait trouver certaines analogies entre les divers éléments du régime hydrologique de la région devonienne de Remouchamps et ceux des cuvettes calcaires et carbonifères du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse.

La zone B ou des cavités toujours pleines d'eau du vallon des Chantoirs paraît être l'équivalent morphologique de la zone A de notre *régime statique* ou de la partie « passive » ou inférieure des couches aquifères en bassins calcaires de M. Verstracten (p. 396, fig. I).

La zone C ou d'oscillation saisonnière supplémentaire de la figure 5 du vallon des Chantoirs paraît pouvoir être rapprochée de notre *trop-plein B* du niveau statique inférieur et, enfin, la zone D ou des canaux généralement vides, sauf en quelques points localisés de déversement permanent, semble correspondre fort bien à la zone D ou du *réseau circulatoire localisé* de la figure schématique (p. 396, fig. I) des bassins calcaires carbonifères du Condroz.

Mais il n'y a là que de simples *apparences* d'unification. En réalité, dans le cas très répandu et si bien représenté par l'exemple du calcaire devonien de Remouchamps, il n'y a *rien* qui soit l'équivalent des réservoirs à minime ou à nulle circulation et formant de véritables nappes dans le cas de la figure 1 (p. 396). Il n'y a ni nappes importantes ni trop-pleins B se déversant comme sources dans les vallées, et il n'y a ici, en tout et pour tout, que le développement considérable du *réseau circulatoire localisé* qui, dans le vallon des Chantoirs de Remouchamps, se subdivise en canaux de circulation rapide et constante B. Ceux-ci se rattachent à d'autres canaux C, où la même circulation s'opère lors de phases périodiques saisonnières ou accidentelles temporaires, et enfin ces derniers sont reliés, vers le haut, à la continuation D des mêmes canaux dont certains, très rares, fonctionnent constamment (engouffrement des ruisseaux permanents de la région) et dont les autres, innombrables, restés vides ou obstrués, peuvent, à titre exceptionnel, servir d'annexe temporaire au dispositif circulatoire général souterrain.

En somme, ce régime aquifère du calcaire devonien du vallon des Chantoirs de Remouchamps est aussi celui des calcaires devoniens de la région Han-Rochefort, si bien étudié par MM. Dupont et Willems, et c'est un cas qui se montrera certainement *très général* dans la ceinture calcaire givétienne de nos deux grands bassins primaires de Dinant et de Namur.

Ce régime aquifère, très caractéristique et général dans nos calcaires givétiens, est, comme on le voit, sensiblement différent de celui des massifs calcaires horizontaux ou faiblement inclinés, tels que ceux de la région de Tournai par exemple (1); il diffère très essentiellement aussi du régime

(1) Voir, dans la deuxième partie de la *Note additionnelle* n° 3, quelques détails nouveaux et complémentaires à ceux fournis précédemment (pp. 440 à 443 et pp. 447 à 423) sur le régime aquifère des calcaires horizontaux de la région de Tournai.

aquifère des calcaires disposés en étroits bassins isolés du terrain carbonifère du bassin de Dinant. Enfin, d'autres conditions se présentent encore, qui réclament une étude spéciale, tant pour les massifs disloqués et bouleversés du calcaire carbonifère de la vallée de la Meuse dans les régions ayant respectivement pour centre Namur et Dinant que pour les massifs, bien plus disloqués, faillés et étrangement tourmentés, du calcaire devonien de l'Ourthe, dans la région Xhoris, Hamoir, Vieuxville, Bomal et Durbuy, soit au sud-ouest de Remouchamps, où M. Fourmarier vient de mettre si nettement en lumière les étonnantes allures multifailles de cette curieuse partie de la bordure orientale calcaire du bassin de Dinant(1).

Il sera facile de montrer, dans une étude ultérieure, que ce ne sont pas seulement les diversités de *dispositions géologiques* des massifs calcaires qui provoquent des différences sensibles, *certaines contrastes* même, entre les caractères régionaux et locaux du régime aquifère des massifs calcaires, mais aussi les variations de leur *mode d'origine* ou de *formation* et celles de leur *composition chimique* et *lithologique*. Le type de fissuration, de jointage, de corrosion, ainsi que le régime aquifère d'un calcaire *construit* ne sont pas ceux d'un calcaire *stratifié*; ceux d'un calcaire *dolomitique* diffèrent de ceux qui se rencontrent dans un calcaire *non magnésien*, etc.

Plus on étudie le sujet, plus on se pénètre de ce principe que la *localisation*, la *différenciation* des régimes et des phénomènes sont la CARACTÉRISTIQUE de l'hydrologie comme aussi de la spéléologie des calcaires; cette différenciation influe nettement sur les allures et sur les caractères du *réseau aquifère circulatoire* qui les parcourt, ainsi que sur les déversements et débits de leurs eaux sous forme de sources ou de réapparitions au jour.

Quant aux vaines tentatives de M. l'ingénieur Verstraeten de tout confondre *en un cas unique et constant* et de l'unifier avec le régime aquifère des *dépôts meubles*, qu'en reste-il, sinon le profond étonnement que provoque une pareille méprise sur une thèse au sujet de laquelle les *faits* fournissent des preuves si aisément et si universellement vérifiables et en opposition *formelle* avec ses conclusions.

S'il m'a fallu rappeler ici ces données s'appliquant à la Belgique, c'est afin de montrer combien nous étions en droit, M. Rutot et moi, d'opposer, aux vues si peu fondées de notre contradicteur, l'avis et les citations que nous avaient fournis, pour notre exposé du 12 novembre 1895, les nombreux auteurs classiques qui, *sans avoir parlé des régions de Han-Rochefort et des bassins calcaires du Hoyoux et du Bocq*, avaient formulé avec un ensemble parfait les bases scientifiques et justifiées de l'hydrologie des calcaires rocheux belges aussi bien qu'étrangers.

(1) *Étude du Givetien et de la partie inférieure du Frasnien au bord oriental du bassin de Dinant*, par P. FOURMARIER. (ANN. SOC. GÉOLOG. DE BELGIQUE, t. XXVII; MÉMOIRES, 1899-1900, pp. 49-110, pl. I.)

Le rôle de la géologie dans les recherches et dans les travaux d'hydrologie appliquée, spécialement dans l'étude des ressources aquifères des terrains calcaires.

Les cinq dernières pages de la « réponse » de M. Verstraeten qui, sous la rubrique significative : *Rôle de l'ingénieur en hydrologie*, clôturent la seconde partie de son exposé, ont une portée toute spéciale.

Dans ces cinq pages finales, l'auteur semble avoir pour but d'établir que, d'après notre thèse, le géologue devrait chercher à supplanter l'ingénieur dans l'élaboration des projets de travaux d'eaux alimentaires. Il prend nettement à partie le géologue qui voudrait jouer un rôle conforme à celui que j'ai tracé dans mon programme de 1890, rôle pour lequel le dit géologue, d'après M. Verstraeten, « ne possède ni le savoir nécessaire ni l'expérience voulue ».

Il faut, conclut mon honorable contradicteur, que

la responsabilité de l'ingénieur reste entière : c'est là une nécessité administrative... Agir différemment, comme le voudraient sans aucune bonne raison nos Secrétaires (c'est de M. Rutot et de moi qu'il s'agit), c'est entamer et traverser (*sic*) cette responsabilité; c'est créer le gâchis, c'est nuire à l'intérêt général, c'est ruiner l'unité d'action et compromettre les opérations les plus simples.

Bref, il semble que l'auteur va ajouter : C'est la fin du monde!

Mais aussi M. Verstraeten complète son cri d'alarme en disant « qu'il a déjà combattu cette *tendance désorganisatrice* », que, malgré ses protestations, « elle vient d'être reprise avec ostentation » et, enfin, « qu'il croit devoir combattre encore, afin qu'on ne pût soutenir un jour qu'elle reçut une faveur quelconque dans une compagnie de gens sérieux, éprise d'intérêt public ».

Qu'est-ce maintenant qui a pu motiver ces appréciations si pessimistes?

Faut-il y voir le reflet d'une répugnance professionnelle que semble avoir M. Verstraeten à admettre qu'en matière de *géologie et d'hydrologie appliquées* un ingénieur puisse trouver quelque utilité dans le concours effectif d'un géologue professionnel ou quelque peu expérimenté?

Il semble plutôt qu'il y a dans tout ceci soit un *malentendu*, soit une *interprétation inexacte* de ma pensée. Une rectification ou un éclaircissement s'impose donc vis-à-vis des lecteurs que M. Verstraeten aurait pu réussir à rallier à ses étonnantes appréciations sur ma thèse de 1890.

A ce point de vue même, la remise au point du débat terminal, dont M. Verstraeten a fait visiblement le point culminant et le but final de toute sa « Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck », ne sera pas sans intérêt, je pense, pour de nombreux groupes de lecteurs : géologues, hydrologues,

ingénieurs et techniciens, administrations provinciales, communales et sociétés diverses ayant dans leur attribution les travaux d'eaux alimentaires, surtout en *terrains calcaires*, objet pour ainsi dire exclusif du débat.

Il y a, bien entendu, mieux à faire qu'à maintenir celui-ci dans la note assez personnelle où l'a, en réalité, placé M. Verstraeten. Mais puisque malentendu il y a et qu'en le dissipant je vais pouvoir réduire à néant les accusations de « tendances désorganisatrices » et « d'empiétements de rôles » formulés par M. Verstraeten, il conviendra, au plus grand avantage de tous et surtout des intéressés qui réclament des projets aussi complètement étudiés que possible, de profiter de l'occasion pour déterminer nettement le rôle du géologue en matière de travaux de recherche d'eaux souterraines alimentaires, spécialement en terrains calcaires.

Ceci me fournira, on le verra, l'occasion de montrer du même coup que sur ce sujet, comme sur tous les autres d'ailleurs, passés successivement en revue dans le présent travail, mon collègue M. Rutot et moi sommes *parfaitement d'accord* avec les autorités scientifiques et techniques les plus incontestées. C'est absolument en conformité d'opinion avec ces autorités que nous avons insisté sur le rôle *capital et prépondérant* du géologue lorsqu'il s'agit de la recherche, de l'étude et de l'utilisation des eaux souterraines, surtout en terrains calcaires. Ce rôle du géologue, qui devient pour ainsi dire nul lorsqu'il s'agit par exemple d'utiliser des eaux de rivières, est au contraire d'importance primordiale lorsqu'il s'agit de drainage souterrain et de captage de sources. C'est au géologue seul qu'il appartient souvent dans ce cas de fournir les bases scientifiques essentielles des projets d'utilisation d'eaux alimentaires, dont l'édification technique ultérieure et la mise sur pied pratique constituent le domaine exclusif de l'ingénieur.

Suivons maintenant M. Verstraeten dans son argumentation.

Une brochure jubilaire, pour laquelle certainement M. Rutot et moi avons fourni des éléments, mais qui a été rédigée et publiée par les soins de notre confrère M. l'ingénieur *J. Hans*, a paru en février 1897, à l'occasion du X^{me} anniversaire de la fondation à Bruxelles de notre Société (1).

Cette brochure, intitulée : *A quoi peut servir une Société de géologie*, retrace à grands traits l'historique des travaux de la Société belge de géologie et mentionne particulièrement, parmi les diverses branches de son activité, les nombreux travaux qu'elle a consacrés aux multiples

(1) *A quoi peut servir une Société de Géologie* dans le domaine des applications pratiques? Notice sur la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie pendant les dix premières années de son existence, par *J. Hans*, ingénieur civil, membre du Conseil de la Société belge de géologie. (Bruxelles, Polleunis et Ceuterick, 1897, br. in-8°, 48 - xxxvi pages. Reproduit dans le tome X de 1896 du *Bulletin*.)

applications de la science. C'est dire toute l'importance qu'y prend l'*hydrologie*.

M. Hans n'a pas manqué d'y reproduire le très bon *programme d'études hydrologiques* proposé chez nous en 1889 par M. Verstraeten, et il lui en laisse naturellement tout l'honneur (p. 16 de la brochure).

Mais le souci des intérêts publics, en matière d'hydrologie appliquée et de travaux d'eaux alimentaires, a aussi engagé M. Hans — et non MM. Rutot et Van den Broeck — à reproduire les trois premiers paragraphes d'une étude que j'ai publiée, en 1890, à l'occasion de l'examen du projet dit du Hoyoux et des sources de Modave (1), étude au cours de laquelle je m'élevai vivement contre le procédé opératoire, trop souvent suivi, tantôt par des ingénieurs et par des hydrologues, tantôt par des administrations communales et autres, ayant en vue des travaux de recherche et de captation d'eaux alimentaires souterraines.

J'ouvre ici une parenthèse pour *affirmer* à nouveau que de tels travaux sont encore trop souvent complètement élaborés, mis sur pied et *présentés à la sanction administrative des pouvoirs publics*, sans qu'aucune garantie ne soit fournie au sujet de leur *base scientifique* en ce qui concerne la géologie et l'hydrologie; les auteurs s'étant bornés à utiliser quelques données générales ou à s'informer auprès des spécialistes, dans la mesure qui leur paraît *convenir et suffire*, alors que souvent ils eussent dû faire appel à une véritable collaboration, à une étude sérieuse et approfondie, pour laquelle le géologue seul possède la compétence requise. Et ceci est surtout le cas lorsque intervient le régime aquifère des calcaires rocheux ou crayeux. Faut-il rappeler le détail des constatations de l'espèce que, tant de fois déjà, la Société belge de géologie a pu faire lorsque des administrations provinciales, communales et autres l'ont priée de les éclairer sur la *valeur scientifique* des projets soumis à leur approbation (2). Comme presque constamment la Société nous a délégués, M. Rutot et moi, à l'effet de procéder à ces examens et de vérifier les données géologiques des projets, dont beaucoup ont été reconnus inexécutables ou mal compris, et comme de la sorte nous avons pu constater, avec pièces à l'appui, les illusions que se font certains auteurs de projets, nous avons donc pu acquérir ainsi quelque expérience en la matière! C'est donc *en connaissance de cause* que j'ai pu écrire dès 1890, à la suite de la partie de mon texte reproduite par M. Verstraeten, que bien souvent « des » auteurs de projets ont consacré beaucoup de temps et d'argent à élaborer » des projets dont la *base rationnelle* faisait défaut », alors que la marche que je venais d'indiquer « leur eût permis de modifier leurs projets de » manière à les rendre admissibles et aptes à faire l'objet d'un examen » approfondi ».

(1) *Loc. cit.*, voir page 440, note 1.

(2) Voir, du moins pour la période 1887 à 1896, la brochure : *A quoi peut servir, etc.*

Dans ma note de 1890, la critique ci-dessus — que passe sous silence M. Verstraeten — était précédée de deux paragraphes, — reproduits, commentés et discutés par lui, — dans lesquels j'indiquais sommairement ce qui me paraissait, et me paraît toujours être, la MARCHÉ RATIONNELLE à suivre dans l'étude scientifique d'un projet de drainage d'eaux alimentaires; je dis *l'étude scientifique*, car je ne me suis nullement occupé, et pour cause, de *l'étude technique*, qui normalement doit suivre et qui est uniquement de la compétence de l'ingénieur.

Or, sans faire le moins du monde allusion aux importants paragraphes de mon exposé de 1890, qui suivent et complètent la thèse fournie dans mon entrée en matière et en déterminent nettement la portée, — d'ordre exclusivement scientifique, — M. Verstraeten reproduit simplement et aussi FORT INEXACTEMENT — ce qui lui permet de les combattre plus aisément — les dits premiers paragraphes de mon exposé. Si j'insiste sur cette incorrection du polémiste, c'est que, grâce à une série de passages transposés en italiques sans prévenir le lecteur de cette altération du texte, — passages savamment disposés et combinés avec l'artifice bien simple mais habile d'une *punctuation modifiée*, — M. Verstraeten est arrivé à faire attribuer à ma pensée un sens différent de celui que je lui avais donné!

En ce qui concerne la reproduction dans la brochure jubilaire de la Société des passages rappelant ma thèse de 1890 sur le rôle des géologues en matière de drainages d'eaux alimentaires, est-il bien correct de nous la reprocher, alors que M. Verstraeten a devant lui l'auteur de la brochure, son signataire responsable : M. l'ingénieur J. Hans? D'autre part encore, notre honorable contradicteur, qui rappelle complaisamment son *programme d'études hydrologiques* présenté en 1889 à la Société, n'a garde de signaler ou même de laisser entendre que ce programme se trouve intégralement reproduit dans la même brochure jubilaire. Sa manière de rappeler ce programme et de le fournir comme une sorte de protestation tendrait plutôt à laisser croire qu'il faudrait en regretter l'absence dans la brochure en question!

Voici maintenant le texte de mon exposé de 1890, qui a si fort irrité M. Verstraeten et qu'il a interprété comme une tendance à l'ingérence inadmissible du géologue dans les travaux de l'ingénieur :

L'étude d'un projet de drainage ou de captation d'eau comprend des points de vue très divers. La marche rationnelle consiste à s'adresser d'abord à la GÉOLOGIE, qui détermine la structure et les relations générales des couches, ainsi que leurs relations avec les nappes ou ressources aquifères qu'elles contiennent, qui permet de dresser des coupes rationnelles des terrains, de déterminer leurs conditions de perméabilité ou d'imperméabilité, ainsi que les difficultés qu'elles offriront aux travaux de mine,

de fouille, de construction, etc. Vient ensuite l'HYDROLOGIE, qui procure le nivellement, le fractionnement des nappes, les quantités d'eau disponibles, le débit moyen avec les minima. La CHIMIE et la BACTÉRIOLOGIE doivent intervenir ensuite pour déterminer la composition des eaux et les variations qu'elles peuvent présenter périodiquement, leur nocivité ou leur innocuité au point de vue hygiénique.

C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'INGÉNIEUR devrait entrer en ligne pour rechercher les conditions d'établissement les plus favorables et les mieux appropriées aux données géologiques et hydrologiques. Son projet, établi alors sur des bases sûres, peut être livré ensuite aux FINANCIERS, aux AUTORITÉS COMPÉTENTES et aux conseils JURIDIQUES, dont le rôle est tout indiqué.

C'est là tout ce que M. Verstraeten a reproduit de mon exposé de 1890, et comment l'a-t-il fait! En soulignant seulement, pour travestir ma pensée, une partie de ma phrase, altérée par un *changement de ponctuation* qui dénature toute la portée de l'idée!

Voici, en effet, comment il reproduit, souligne et ponctue le premier membre de phrase de mon second paragraphe :

« *C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'ingénieur devrait* » *entrer en ligne*, pour rechercher les conditions d'établissement, etc. ».

Ainsi présentée, la phrase veut nettement dire qu'antérieurement l'ingénieur n'aurait pas eu à intervenir en quoi que ce soit dans l'élaboration première du projet, qu'il recevrait donc des mains du géologue, tout fait, entièrement dressé et absolument mis au point. Or, dans les conditions actuelles et ordinaires de *genèse* d'un projet, d'une étude de distribution d'eau, *en Belgique*, un tel processus, quelque rationnel qu'il soit, ne serait guère réalisable. Dans la plupart des communes et des petites villes, quels sont en effet ceux de leurs édiles qui se doutent seulement du rôle capital que doit jouer la *géologie* dans l'étude préalable d'un projet de drainage souterrain? Tout le monde connaît et estime avec raison nos savants ingénieurs, et l'on s'adresse régulièrement à eux, croyant qu'ils possèdent autant d'aptitudes et de connaissances pour apprécier ce qui se passe *sous terre* qu'ils en montrent généralement pour l'exécution technique des projets (1). Qui alors, en dehors des grands centres, plus

(1) Il est à remarquer qu'en Belgique, il est pour ainsi dire EXCEPTIONNEL qu'un *ingénieur des mines* se soit occupé de dresser des projets d'alimentation en eau potable. Ce sont généralement des ingénieurs civils, des ingénieurs des ponts et chaussées et surtout des ingénieurs hydrauliciens — ceux, en un mot, qui n'ont pas, autant que les premiers, l'occasion d'étudier la géologie « souterraine » — qui ont la spécialité, chez nous, de s'occuper de ces travaux; ou bien encore des personnes s'attribuant, pour leurs convenances personnelles, le titre d'ingénieur, qui, d'ailleurs,

éclairés, songerait, avant de faire appel aux ingénieurs et à leurs projets, à réclamer les lumières préalables du géologue? Ce n'est donc, en pratique, que lorsqu'un premier travail d'enquête et de recherches techniques financières et administratives a été fait par l'ingénieur que commence généralement en fait, et le plus souvent *sans* le concours de la géologie, l'élaboration dite scientifique du projet.

Tantôt ce sera l'auteur de celui-ci qui consultera le géologue sur ce qu'il *croira* constituer la clef du problème souterrain ; tantôt ce sera la commune elle-même qui réclamera son concours, désireuse qu'elle sera d'avoir quelque garantie supplémentaire.

Mais assez souvent, comme je le disais en 1890, le projet est fait, terminé et soumis à l'autorité supérieure *sans que le géologue ait eu à intervenir*, sans que le criterium géologique ait été abordé sérieusement..., et alors seulement le géologue, consulté après coup par l'autorité supérieure, soucieuse de l'hygiène et des intérêts publics, se verra, en conscience, forcé de déclarer parfois stériles et inacceptables les fruits de tant d'études, de recherches et de labeur mal dirigés et ayant négligé d'aborder les éléments essentiels et primordiaux du problème.

Malgré l'avantage énorme qu'il y aurait donc à considérer la *consultation géologique* comme PRÉALABLE à toute étude technique, j'ai dû, en 1890, considérant ce qui se passe en l'occurrence *neuf fois sur dix* en Belgique, m'astreindre à ne réclamer absolument le pas pour la géologie que pour ce qui concerne la *phase d'élaboration* SCIENTIFIQUE. C'est du moins ainsi que doit s'interpréter pratiquement l'application de mon programme de 1890, faute d'en pouvoir faire chez nous l'application stricte et absolue, qui reste le véritable idéal du processus opératoire.

Si M. Verstraeten avait équitablement reproduit les deux paragraphes est du domaine public. Les remarques du texte ci-dessus seraient sans doute moins justifiées en France, ou dans d'autres pays, où les *ingénieurs des mines*, mettant à profit leurs connaissances géologiques, plus spécialement développées, s'occupent assez fréquemment de ces sortes de travaux d'hydrologie souterraine appliquée.

Il est à remarquer qu'en France aussi, un grand nombre d'ingénieurs des mines sont, comme c'est d'ailleurs le cas pour assez bien d'entre eux en Belgique, des géologues pratiquants distingués qui, en l'occurrence, pourraient se charger seuls de l'étude géologique complète et détaillée d'un projet de drainage alimentaire souterrain.

La récente institution, à l'université de Liège, du diplôme d'*ingénieur-géologue* et la manière brillante dont sont donnés les cours qui en permettent l'obtention, font espérer qu'avant peu d'années les travaux de drainage souterrain pourront trouver en Belgique une pépinière de spécialistes parfaitement à même de traiter dans leur intégralité les difficiles problèmes que présentent les travaux de drainage alimentaire souterrain. Ce sera d'autant plus utile que ceux-ci se multiplient de plus en plus, en Belgique, en raison directe de la diminution graduelle des ressources aisément accessibles en eaux potables et du développement des connaissances hygiéniques, même dans les plus petites communes, qui, l'une après l'autre, demandent d'être alimentées d'eaux soustraites aux causes de pollution.

qui, dans mon texte, suivent immédiatement ceux qu'il fournit, il n'aurait guère réussi à interpréter inexactement la situation.

J'ai fourni plus haut, dans quatre lignes entre guillemets (pp. 458-459), le premier de ces paragraphes complémentaires et de mise au point. Voici l'autre :

Au sein de la Société belge de géologie, il ne peut être question d'apprécier la valeur pratique d'un projet pris dans son ensemble. Cela résulte à l'évidence de l'exposé ci-dessus. *Seuls les points de vue GÉOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE et CHIMIQUE peuvent faire l'objet de nos études.* Certes un projet satisfaisant aux desiderata correspondant à ces trois éléments fondamentaux peut techniquement et financièrement n'être pas exécutable; c'est ce qu'il appartient éventuellement aux ingénieurs, administrateurs et financiers de vérifier; mais l'étude rationnelle, telle qu'elle est ici proposée, *aura toujours l'immense avantage d'éviter de soumettre à de longues et coûteuses études techniques, à la discussion publique — et parfois politique — ainsi qu'au choc d'intérêts personnels et administratifs contradictoires, des projets inexécutables, auxquels LA BASE SCIENTIFIQUE serait défaut.*

Dans la première phrase *ici* soulignée, les mots reproduits en petites capitales se trouvaient indiqués en italiques dans mon texte de 1890 et montraient que tout l'ensemble des considérations émises ne s'appliquait nullement à l'élaboration technique du projet, mais seulement à son *étude scientifique*, spécialement géologique et hydrologique. Quant à la dernière phrase *ici* reproduite en italiques, elle résume les inconvénients — trop fréquents — de la marche ordinairement suivie.

Dans les pages dont il fait suivre la reproduction partielle et inexacte de mon exposé de 1890, M. Verstraeten refait la genèse de l'élaboration d'un projet en *terrain calcaire* et tente de discuter, point par point, (pp. 33-35 de l'extrait du Recueil gantois) une application — qu'il essaie de présenter comme rationnelle — des idées émises par moi.

S'emparant pour cela, pour les présenter à sa manière, des divers faits et des phrases d'exposés scientifiques que j'ai commentées et remises au point précédemment (pp. 404 et 406), et amplifiant leur portée dans le présent litige; méconnaissant d'autre part l'existence de *cas différents* qui, pour les calcaires, peuvent et doivent même donner lieu à des *appréciations divergentes* suivant le cas considéré, M. Verstraeten cherche à faire croire que les géologues qu'il a critiqués ne parviendraient pas à se mettre d'accord pour fournir une « base sûre » aux données scientifiques du problème. Et d'après lui, si quelqu'un devait être en défaut, ce ne pourrait assurément être que M. A. Rutot et moi! Pour en arriver à cela, M. Verstraeten imagine une série de situations peu conformes à la réalité des faits: il attribue aux géologues qu'il combat la responsabilité de l'*exagération* de faits réels et indiscutables (tels le débit considérable des sources du calcaire du Hoyoux et la possibilité de l'empiètement souterrain des bassins calcaires). Il critique enfin, faute de l'avoir comprise (voir p. 398),

notre prétendue conception hydrologique nouvelle. Il transmet insidieusement, de la part de M. Dupont, aux *ingénieurs* et aux *entrepreneurs de projets*, les conseils rationnels donnés par ce géologue aux *paysans* et relatifs à leurs puits; bref, M. Verstraeten s'ingénie à jeter une complète suspicion sur les connaissances scientifiques, l'expérience et les conseils émanant des géologues qu'il se complait à présenter comme *profondément divisés* sur les bases scientifiques de l'hydrologie des calcaires!

J'avais, en 1890, parlé d'une « *marche rationnelle* », qui consistait, dans l'étude d'un projet de drainage d'eaux alimentaires, à s'adresser tout d'abord à la géologie. M. Verstraeten, qui laisse croire qu'en suivant cet avis il se serait trouvé en présence de DEUX « *marches rationnelles* » mais *diamétralement opposées*, arrive ainsi à sa conclusion tant désirée, que ces deux marches opposées « *sont de nature à rendre perplexes les ingénieurs* » et, en attendant, ajoute-t-il, que la foi lui vienne, il propose à « *ses confrères du génie* » de garder encore en considération la *vieille marche*, qu'il va brièvement rappeler comme suit :

Quand un ingénieur est chargé d'une *question de distribution d'eau* pour une commune par exemple, c'est avec cette commune même et non avec la géologie qu'il doit commencer la série de ses investigations.

Il en relève toutes les *conditions particulières constitutionnelles*; il rapporte ses *besoins d'eau*, publics, domestiques, industriels, comme qualité et quantité; il note ses *moyens actuels d'alimentation* par puits, citernes, etc.; apprécie ses *économies disponibles* pour les adductions nouvelles convoitées, la « *faculté payante* » des habitants, etc.

Mais qui donc songerait jamais, en Belgique, sans le concours efficace d'un *règlement administratif* ou d'une *loi* sur la matière, à réclamer des communes l'intelligente initiative de s'adresser préalablement, et pour information scientifique, au géologue, avant de réclamer un projet à l'ingénieur; ou encore à faire imposer par les communes la collaboration d'un géologue aux travaux de l'ingénieur? Il faut donc bien se résoudre à laisser, dans l'état actuel des choses, les communes, du moins les centres de moyenne importance, qui souvent même ignorent l'existence du géologue, s'adresser aux ingénieurs pour commencer l'élaboration *technique* des projets. Qui d'ailleurs songerait à vouloir faire réunir par le géologue les éléments de pure statistique technique et administrative qui n'ont rien à voir avec l'*étude scientifique* du projet, dont l'élaboration proprement dite doit suivre ce premier groupement d'éléments préalables. Je disais nettement, ligne 3 du 4^e § de mon Exposé de 1890 : « *Seuls les points de vue géologique, hydrologique et chimique* peuvent faire partie de nos études » (1),

(1) Je parlais ici des membres de la *Société belge de géologie* appelés à apprécier la valeur scientifique de certains projets et qui comptent dans leurs rangs plusieurs hydrologues et chimistes distingués, dont le concours pouvait en l'occurrence être requis.

et la *base rationnelle* dont je parlais dans le paragraphe précédent est la *base scientifique*, qui n'a rien de commun avec le *travail de statistique administrative et technique*. Celui-ci, j'en suis parfaitement d'accord avec M. Verstraeten, est exclusivement du domaine de l'ingénieur et peut, même sans inconvénient grave, précéder parfois l'étude scientifique du projet.

Mais revenons à M. Verstraeten, qui poursuit ainsi :

Il (l'ingénieur) établit ensuite la *météorologie* de la contrée; s'enquiert surtout des périodes les plus longuement arides; consulte les observatoires de la région; et, pourvu de toutes les données recueillies à cet effet, monte à l'observatoire général du pays, pour les contrôler, les corriger, les compléter.

Comme nous restons toujours ici dans le domaine des *faits accessibles* et de la *statistique courante*, personne ne contestera que l'ingénieur soit à même de s'occuper avec compétence de tout ce qui concerne les *chutes pluviales* et par conséquent de la *météorologie*.

Cela n'aura guère d'inconvénient en matière de *bassins à dépôts meubles*, dont le régime hydrologique, peu compliqué, ne présentera à l'ingénieur que des problèmes avec lesquels il est très fréquemment familiarisé et dont la *géologie* même est aisément accessible à l'ingénieur quelque peu expérimenté ou porté à se renseigner auprès des géologues.

Mais, déjà dans les *bassins rocheux calcaires*, bien des conditions changent, comme celles existant entre le rapport de la chute pluviale calculée d'après la superficie des bassins superficiels et le débit des sources! (1) Le géologue, bien mieux que l'ingénieur, se rendra compte d'une série complexe de phénomènes souterrains, de cheminements, d'absence ou d'accumulation d'eaux, guidés variablement par des *conditions géologiques spéciales* et partout *variables et différentes*. On le voit, dès que le *côté scientifique apparaît* et qu'il s'agit de rechercher ou d'interpréter ce qui se passe *sous terre*, le rôle du GÉOLOGUE s'indique et s'affirme : *lui seul* est à même de guider l'ingénieur, surtout dans les cas, toujours très scabreux, que présente le régime aquifère des calcaires.

A quoi sert à l'ingénieur — pour le cas considéré de projets en terrains rocheux de cette nature — d'avoir établi avec précision ce qu'il tombe d'eau et quels sont les minima et maxima pluviométriques, s'il reste ignorer ou s'il interprète d'une façon inexacte tout le *processus d'infiltration* et de *circulation souterraine* qui, dans les calcaires, se montre si radicalement distinct de ce qu'il est en terrains meubles!

Et combien n'avais-je pas raison de conclure, en 1890, que les *bases sûres*, la *marche rationnelle* d'un projet de l'espèce doivent dépendre du

(1) Voir, à ce sujet, dans la 2^e partie de la NOTE ADDITIONNELLE n° 2, combien sont *illusaires* les chiffres du prétendu rendement à l'*hectare-jour* lorsqu'il s'agit de massifs rocheux calcaires plissés, fissurés et redressés.

concours INITIAL du *géologue* dès que l'on aborde, dans l'élaboration des projets, le côté *scientifique* de la question.

On verra, à la fin de cet exposé, quelle ÉCLATANTE ET HAUTE CONFIRMATION je suis heureux de pouvoir signaler à l'appui de mes vues.

Mais continuons à suivre M. Verstraeten dans l'exposé de sa *vieille marche* :

Puis il (l'ingénieur) passe à l'*examen topographique, orographique, géologique, lithologique, etc.*; il PRESSE DE QUESTIONS TOUS LES SAVANTS ET PRATICIENS DE L'ENDROIT au point de vue des solutions possibles.

L'auteur expose ensuite comment l'ingénieur reconstitue l'hydrologie spéciale de la contrée, — et il admet d'ailleurs que pour ses études ultérieures, géologique et hydrologique, — il devra « CONSULTER TOUTES LES COMPÉTENCES ».

Il termine enfin, en ajoutant :

C'est alors, et alors seulement que l'hydrologue aura des *bases sûres* ou réputées telles, qu'il pourra arrêter le choix du projet définitif et « marcher de l'avant » dans la voie des travaux où, souvent, MALGRÉ LA PRÉPARATION LA PLUS CONSCIENCIEUSE, LES LEÇONS LES PLUS DURES METTRONT A L'ÉPREUVE SON INGÉNOSITÉ ET SA CONSTANCE.

N'est-ce pas là un aveu forcé, bien mélancolique, que celui indiqué par le rapprochement des deux passages que j'ai reproduits en petites capitales et qui montre que le système consistant à « presser de questions les savants et les praticiens de l'endroit » et à « consulter toutes les compétences » n'aboutit encore souvent qu'à une préparation scientifique insuffisante, qui expose à subir, lors de l'exécution des travaux, de *dures leçons* ! C'est là, il faut en convenir, un singulier cri de triomphe en faveur du procédé que M. Verstraeten préconise et oppose au mien.

La *vieille marche* de l'ingénieur n'a décidément rien de *trionphal* !

Ce que M. Verstraeten n'a pas compris, c'est que, surtout en matière d'hydrologie des calcaires, l'ingénieur est absolument incapable — à moins d'avoir fait des études géologiques spéciales à ce sujet — de se rendre compte des très grandes et très réelles difficultés de l'allure souterraine des terrains et des eaux. Presser de questions les savants, consulter les compétences pour en obtenir des renseignements, n'aboutit à rien de bien sérieux lorsqu'on ignore exactement *ce qu'il faut demander* au géologue et *quelles sont les conditions réelles des problèmes dérobés à la vue*, problèmes dont l'interprétation rationnelle est strictement du domaine de la géologie. Bien souvent même, le géologue le plus compétent conservera des doutes et des hésitations : l'*imprévu* n'est que trop souvent un facteur à considérer dans les allures souterraines des calcaires et de leurs eaux, surtout lorsqu'il s'agit, comme c'est fréquemment le cas en Belgique, de calcaires repliés, redressés et disloqués. Si le géologue doit, de bonne foi, reconnaître que ce genre d'études est difficile et

réclame de sa part une enquête approfondie et détaillée, au service de laquelle il devra parfois mettre en œuvre toutes ses connaissances spéciales et son expérience professionnelle, combien ne se trouvera pas à côté de lui, en état d'absolue infériorité, l'ingénieur non familiarisé avec ces difficiles énigmes souterraines, et combien plus encore serait incapable de les résoudre celui qui, comme M. Verstraeten, se met lui-même en mauvaise posture en professant obstinément des vues et des thèses rejetées comme FAUSSES par l'universalité des géologues.

La conclusion formelle de cet exposé est que si, lorsqu'il s'agit de dépôts meubles, l'INGÉNIEUR consciencieux peut trouver quelque utilité dans le CONCOURS INITIAL DU GÉOLOGUE pour l'élaboration scientifique des « bases sûres » d'un projet de recherche d'eaux alimentaires, ce concours préalable lui devient INDISPENSABLE lorsqu'il aborde l'étude compliquée du régime hydrologique des terrains rocheux calcaires, plissés, fissurés et redressés.

Ces vérités, je les énonce ici, d'accord avec un bon nombre d'auteurs, d'ingénieurs et de spécialistes les plus éminents, avec la citation du texte desquels je clôturerai le présent exposé.

Et que l'on ne croie pas que ce sont seulement les géologues qui parlent ainsi. Ingénieurs et hydrologues ne manquent pas, et non des moins estimés, qui sont du même avis, et ce sont surtout leurs textes que je vais reproduire plus loin.

Si je vais être amené à m'attarder quelque peu, à l'occasion des *extraits* que va me fournir le premier d'entre eux, M. l'ingénieur E. Putzeys, c'est parce que ces extraits vont utilement m'entraîner à retracer un rapide

Aperçu historique des travaux de drainage alimentaire de la Ville de Bruxelles.

Qu'on me permette toutefois, avant d'y arriver, de rappeler d'abord ce que dit du rôle des géologues M. E. Putzeys, le distingué ingénieur en chef des travaux et du service des eaux de la ville de Bruxelles, dans son *Étude sur les vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq* (1).

(P. 8.) On ne peut qu'applaudir à la décision récemment prise par le Gouvernement d'ouvrir une enquête sur la question des eaux en Belgique; je crois qu'elle mettra en lumière certains faits dont la salubrité générale est appelée à bénéficier, *si des géologues sont appelés à participer à cette importante étude.*

L'auteur a souligné lui-même cette dernière partie de sa phrase.

... La condamnation de certaines sources ... prouve une fois de plus que les problèmes ayant pour objet le captage d'eaux élaborées en sous-sol sont *du domaine de*

(1) *Loc. cit.*, voir page 437, note 3.

la géologie, tout aussi bien que s'il s'agissait de la prise de possession d'un minéral enfoui dans les profondeurs du sol. Malheureusement, un *amour-propre mal placé, parfois aussi une trop haute opinion de soi-même* (1), engage les auteurs de projets à ne pas s'adresser aux professionnels pour des questions d'ordre spécial. C'est là un tort qui serait pardonnable si, pour la mise à exécution des projets, on devait puiser dans sa propre bourse; ce procédé est injustifiable lorsque les deniers publics doivent être mis à contribution...

Si pour l'analyse chimique, pour l'examen bactérioscopique des eaux dont on propose la dérivation, on a soin de ne pas s'en rapporter à soi-même et si l'on a recours à des personnes spécialement compétentes, pourquoi ne pas en user de même pour déchiffrer les *problèmes géologiques* que soulève l'inspection des terrains fournissant ces mêmes eaux, surtout lorsqu'il s'agit de sources émergeant des *terrains fissurés, comme les calcaires devoniens et carbonifères, où la circulation des eaux s'établit d'une tout autre façon que dans les terrains perméables* ?

Page 10, l'auteur, après avoir rappelé les travaux, en matière d'hydrologie des calcaires, des géologues Belgrand, Dupont et Daubrée, des ingénieurs spécialistes Otto Lueger (2) et Spataro, des explorateurs spéléologues Martel et Gaupillat, etc., « qui ont accumulé faits sur faits pour démontrer que les terrains compacts par nature, mais fissurés par accidents géologiques, ne comportent que des rigoles, des corridors d'écoulement et des nappes discontinues », ajoute qu'il « conviendrait d'apporter, à l'appui du système que l'on prétend y opposer, le résultat d'observations précises, nombreuses et indiscutables, et non de simples dénégations ».

M. Putzeys termine cette partie de son exposé (p. 12) par les deux paragraphes que voici :

Et quoiqu'il paraisse pénible à l'ingénieur chargé de l'étude des distributions d'eau de voir abandonner à d'autres une partie de sa tâche, l'intérêt public lui commande de s'en remettre, dans des cas spéciaux comme celui qui nous occupe, à l'avis des géologues, généralement plus compétents que lui pour apprécier ce qui se passe dans les entrailles de la terre.

Cela ne signifie nullement que nous ne devons pas avoir voix au chapitre, puisque nous aussi nous pouvons être bons observateurs; mais les mêmes raisons qui nous engageraient à ne pas nous incliner devant la compétence des géologues en matière d'établissement de prix de revient de l'eau par exemple, ou encore d'exploitation du service, doivent nous engager à nous effacer devant eux lorsque nous abordons des problèmes de leur compétence.

(1) Ces passages n'ont pas été soulignés par l'auteur; je me permets de le faire à sa place.

(2) De la belle étude technique, consacrée par M. Otto Lueger, dans son savant ouvrage : *Die Wasserversorgung der Städte* (Darmstadt, 1891), à l'hydrologie des calcaires, j'aurais encore pu extraire des citations destinées à montrer que cet éminent praticien est absolument d'accord avec les maîtres de la science en géologie pour apprécier, conformément aux vues de M. Putzeys, à celles de M. Rutot et aux miennes, le régime aquifère si spécial des terrains calcaires.

En s'exprimant ainsi, M. l'ingénieur Putzeys, qui, on le verra ultérieurement, a mis ses actes administratifs et techniques parfaitement d'accord avec ses paroles, s'est sans doute souvenu de l'exemple donné en 1889 par son prédécesseur à la direction des travaux de la ville de Bruxelles, M. l'ingénieur *Van Mierlo*, qui avait lui-même, en ce qui concerne le service des eaux, repris la succession de M. Th. Verstraeten à son départ en 1886. La Ville avait donc, dans le courant de 1889, par l'intermédiaire de son ingénieur M. Van Mierlo, demandé l'avis de la Société belge de géologie au sujet de deux projets d'extension de ses galeries drainantes; l'un d'eux était présenté par le service de la Ville et l'autre par M. le capitaine E. Verstraete, qu'il ne faut pas confondre avec l'ingénieur Th. Verstraeten.

Chargé avec M. Rutot de présenter à la Société un rapport, que celle-ci adopta et transmit à l'administration communale, nous démontrâmes aisément que le projet du capitaine E. Verstraete était dénué de toute base géologique sérieuse et devait être rejeté. Nous fîmes la critique raisonnée du projet de la Ville, qui se présentait dans des conditions géologiques défavorables, et nous préconisâmes chaudement l'établissement, avec raccordement au réseau primitif, créé par M. l'ingénieur Th. Verstraeten, d'un *nouveau réseau de galeries transversales développées*, que nous proposions d'orienter tout autrement que la galerie principale, soit, dans le but d'obtenir un débit considérable, dans un *sens perpendiculaire au lent mouvement général de translation de la nappe aquifère* (1). Nous montrions en même temps que cette grande galerie drainante, établie par M. Verstraeten dans une direction *parallèle* à la marche du grand déversement aquifère souterrain venant du S.-S.-E., semblait avoir été poussée bien loin dans cette direction, sans avoir utilisé d'énormes ressources aquifères, plus rapprochées et restées disponibles (2).

(1) E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT, *Le projet de la Ville de Bruxelles pour l'extension des galeries de drainage destinées à l'alimentation de la Ville en eau potable.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL. DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. III, 1889, Procès-Verbaux, Séance du 9 octobre 1889, pp. 373-375.)

(2) Il convient d'ajouter, en toute équité, que le tracé d'une très importante branche de galerie dirigée dans ce sens, vers Notre-Dame-au-Bois, se trouve indiqué sur les *plans d'extension* dressés par M. Th. Verstraeten. Il eût mieux valu peut-être de pousser moins loin la galerie principale nord-sud et de réaliser l'exécution d'une sérieuse galerie transversale, plus avantageuse, semble-t-il, que les minimes bouts ou tronçons de galeries de l'espèce établis soit sous le Bois de la Cambre, soit à Boitsfort. Les tracés et dispositions de ces petits bouts de galeries ne paraissent guère témoigner de l'exécution voulue d'un plan d'ensemble, destiné à donner quelque extension à ces dispositifs, irréguliers et diversement orientés. Il semble plutôt que ce sont les difficultés, très réelles d'ailleurs, suscitées par les *sables bouillants* du massif drainé, qui ont dû amener l'abandon successif de ces tentatives après de minimes longueurs d'exécution.

J'ai dit tantôt que M. l'ingénieur E. Putzeys, le successeur, au cours de cette même année 1889, de M. Van Mierlo dans la direction des travaux de la Ville, avait mis ses actes d'accord avec ses paroles, rapportées tantôt.

En effet, dès ses premières études sur l'extension du Service, M. Putzeys nous avait demandé, à M. Rutot et à moi, un nouveau *Rapport sur l'étude géologique et hydrologique de la région d'alimentation des galeries drainantes bruxelloises* (1).

Nous développâmes, après une étude géologique qui mit à néant les craintes qui avaient été exprimées de voir les galeries drainantes influencer sur la végétation de la forêt, notre thèse, déjà exposée une première fois, en 1889, à la demande de M. Van Mierlo, de l'opportunité d'établir de nouvelles galeries *transversales*, perpendiculaires au mouvement de translation souterrain des eaux drainées, galeries que nous proposons de brancher à angle droit sur la grande galerie existante.

Peu après, dans son rapport de 1893, fait au Collège en sa qualité de chef du Service des eaux, rapport consacré à une étude de l'*Extension du Service des eaux de l'agglomération bruxelloise* (Bruxelles, grand in-8°, V° J. Baertsoen, 186 p., 46 planches et 8 croquis hors texte) et dont le manuscrit est daté de décembre 1892, M. Putzeys montra que les prévisions de rendement qu'avait naguère faites son prédécesseur M. Verstraeten, pourraient être considérablement dépassées par l'adoption de dispositifs complémentaires nouveaux.

C'est ici qu'interviennent, d'une part, les ingénieux serremments de retenue préconisés par M. l'ingénieur Putzeys, et, d'autre part, l'adjonction, proposée par nous dans nos rapports de 1889 et de 1892, des *galeries transversales* tracées perpendiculairement au grand sillon drainant exécuté par M. Verstraeten suivant la direction d'arrivée des eaux.

Les pages 15 et 21 à 27 de l'étude de M. l'ingénieur Putzeys mettent en pleine lumière les multiples éclaircissements qu'a apportés notre rapport géologique et hydrologique, rapport qui, dit-il page 15, « engagera sans doute le Gouvernement, propriétaire de la forêt de Soignes, à autoriser les changements de direction de galeries capables d'assurer les venues maxima ».

Il est assez curieux et suggestif de constater que tout en se défendant de vouloir, comme l'ont fait ses successeurs à la direction du Service des eaux de Bruxelles, admettre le concours *préalable* de la géologie dans les travaux de recherche et de captation d'eau, M. l'ingénieur Verstraeten a fait *exactement comme eux*, de même aussi que l'avaient fait ses *précurseurs* à lui. En effet, que lisons nous dans l'intéressant historique fourni par

(1) Ce rapport fut adressé par nous au Collège échevinal de Bruxelles sous la date du 15 avril 1892.

M. Verstraeten pour son étude sur *Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles* (1).

Après avoir parlé des anciennes eaux alimentaires et de la situation de 1800 à 1850, il relate qu'en 1850, sous l'administration du bourgmestre de Brouckère, la question d'une distribution d'eau fut sérieusement mise à l'ordre du jour, la vieille distribution de la source du Broubelaer ne pouvant plus suffire aux besoins rapidement croissants.

Une série de projets, dus à MM. Delaveleye, Le Hardy de Beaulieu, Carez et Delsaux, tous basés sur des dérivations de ruisseaux ou de sources de l'Entre-Senne-et-Dyle, en amont de Bruxelles, virent alors le jour. L'analyse chimique ayant reconnu de bonnes eaux potables dans cette région, et ces eaux, dit M. Verstraeten, ayant été acceptées comme telles par toutes les autorités scientifiques auxquelles s'adressa la Ville, on combina une utilisation plus complète des sources du Broubelaer, appartenant à la Ville, avec la dérivation des sources du Hain, qu'il fallut acquérir. Cette combinaison, agréée par le Conseil communal le 14 décembre 1852, fut mise à exécution par M. l'ingénieur Carez. En 1870, la Ville dut de nouveau chercher des eaux supplémentaires. (Voir l'exposé englobé dans le chapitre III de M. Verstraeten : Les eaux du Bois et de la Forêt.)

C'est alors qu'un projet émanant de son Service technique, dirigé à cette époque par M. l'ingénieur Verstraeten, fut soumis aux pouvoirs compétents, ainsi qu'à l'avis d'une *Commission scientifique*. Cette Commission, nous apprend M. Verstraeten, fut composée d'un des plus illustres géologues de l'époque : M. d'Omalius d'Halloy, d'un ingénieur, M. Maus, et d'un chimiste, M. Depaire. L'avis favorable donné par ces hommes de science triompha des « grandes colères et des sinistres prédictions » qu'avait fait naître le projet, fort bien conçu, de M. Verstraeten, familiarisé d'ailleurs avec la connaissance géologique de la région à sédiments meubles et à nappes régulières de la région qu'il se proposait de drainer. C'est grâce à cette adhésion des hommes de science, et notamment grâce à l'autorité qui s'attachait au nom de d'Omalius, que fut adopté le projet initial de M. Verstraeten, prélude de l'extension qui lui fut ultérieurement donnée, en 1876, sous la forêt de Soignes.

Il faut croire que M. Verstraeten a quelque peu perdu de vue les sentiments de gratitude qu'il dut éprouver naguère en faveur de la *géologie* et de son illustre représentant dans la *Commission scientifique*, sans l'approbation de laquelle il n'eût pu triompher de la vive opposition de l'opinion publique.

(1) *Ville de Bruxelles. Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles*, par TH. VERSTRAETEN, ingénieur, chef du Service des eaux. Bruxelles, V^e Baertsoen, 1884; brochure in-8° de 79 pages avec atlas in-plano.

Récapitulant le petit historique qui précède, on constate que dans chacune des étapes précédant, accompagnant et ayant suivi le passage de M. l'ingénieur Verstraeten à la Direction des travaux de drainage alimentaire de la ville de Bruxelles, l'élément scientifique, et spécialement *géologique*, a été soit consulté, soit mis à contribution pour avis préalable à la mise sur pied définitive et à l'exécution des projets.

Si les connaissances géologiques indiscutables de M. Verstraeten en matière de constitution du sol et du sous-sol de nos régions sableuses aquifères de l'Entre-Sambre-et-Dyle lui ont permis, en 1870, d'élaborer un projet approuvé par les représentants des sciences géologiques et autres, une étude plus détaillée, plus attentive encore, nous a permis, à M. Rutot et à moi, en 1889 et en 1892, de préconiser, parallèlement aux améliorations de dispositifs techniques (serrements) imaginées par M. l'ingénieur Putzeys, une disposition différente et avantageuse de galeries transversales greffées sur celles existantes.

Le rôle utilitaire de contrôle et de perfectionnement de la *Géologie* plane donc sur toute l'histoire des galeries alimentaires, dont la majeure partie est l'œuvre de mon honorable contradicteur, et c'est là une conclusion qu'il n'était pas mauvais de faire ressortir, au risque d'avoir dû ouvrir ici une assez longue parenthèse — que nous fermerons maintenant — au sujet des déclarations, reproduites ici p. 467, de M. l'ingénieur E. Putzeys, et dont les données rappelées ci-dessus fournissent la complète justification.

Dans le n° 18 du 15 avril 1896 (pp. 409-418) de la *Technologie sanitaire*, M. X. Stainier, membre de la Commission géologique de Belgique et professeur de géologie et d'hydrologie à l'Institut agricole de Gembloux, reproduit une de ses leçons sous le titre : *Allure des nappes aquifères au contact des terrains primaires*. Point n'est besoin de rappeler que M. Stainier ne partage en rien les vues de M. Verstraeten sur les « nappes » des calcaires, sur leurs allures et leurs caractères. Je me borne à reproduire le paragraphe final de cette étude, en en soulignant quelques passages, sans autre commentaire.

On voit donc, et c'est par cette remarque que nous terminons cette étude, que l'hydrologie est dans une étroite dépendance des *connaissances géologiques*. *Plus celles-ci seront avancées et parfaites et plus l'hydrologie reposera sur des bases sérieuses*. L'étude des nappes aquifères ne repose, en effet, que sur deux données : les lois hydrostatiques et la position et l'allure des contacts de roches perméables et imperméables. Pour en revenir aux trois points signalés dans ce travail, *seule la géologie* pourra nous faire connaître la pente et le sens de la pente des roches imperméables, le relief plus ou moins accusé de leur surface et la constitution lithologique du sous-bassement qu'elles forment.

Dans sa belle *Étude géologique du Tunnel du Rocio*, à Lisbonne,

M. P. Choffat, le savant géologue du Service portugais, arbitre incôntesté, s'il en est, en matière d'applications géologiques, se plaint amèrement du peu de cas que font de la géologie les personnes mêmes qui ont à l'appliquer dans leurs recherches ou travaux. Dans deux paragraphes, dont je me borne à souligner quelques mots caractéristiques, il poursuit ainsi :

Nous ne demandons pas des études spéciales en géologie à tous les hommes qui ont à diriger des travaux sur le terrain; ce serait matériellement impossible; mais il est un ensemble de connaissances géologiques qu'ils devraient tous posséder. Dans bien des cas, il suffirait pour leur éviter bien des mécomptes; dans d'autres cas, il leur ferait comprendre la *nécessité de l'intervention d'un spécialiste*.

Chez l'ingénieur, cette lacune d'instruction provient précisément du parti pris que nous venons de signaler; ayant de nombreuses branches à étudier, il délaisse naturellement celles qui lui paraissent superflues.

L'auteur reconnaît ensuite que la faute en est souvent à l'enseignement mal compris de la Géologie, et il ajoute :

Quel que soit, du reste, le mode d'enseignement, on ne doit pas oublier que ce qu'on acquiert à l'école n'est pas la science en elle-même, mais seulement le moyen de l'obtenir, et qu'il faut encore un long apprentissage sur le terrain avant de *savoir observer et d'être capable d'une saine compréhension des faits*.

Dans sa *Géologie pratique* (1) que vient de publier (A. Colin, Paris), M. L. De Launay, professeur à l'École supérieure des mines, l'auteur dit, pages 2 et 3 de son chapitre 1^{er} :

Le *but pratique de la géologie* est d'arriver à prévoir, d'après la seule observation des terrains superficiels et des tranchées naturelles sur une étendue plus ou moins grande et, presque toujours, sans aucune espèce de fouille ou d'excavation, la succession complète des couches que doit traverser un puits ou un sondage foré en un point quelconque et prolongé, autant qu'on le voudra, avec les nappes d'eau ou les gisements de substances minérales utiles qui peuvent y être intercalées.

... Il est à peine besoin de dire que sans géologie il est impossible de faire un travail de mine, d'exploiter rationnellement une carrière, de capter une source, d'établir un projet de tranchée ou de canal, etc. *Ceux là mêmes qui, pour certaines applications, croient se passer de la géologie, en se laissant guider par une pratique purement empirique, font, en réalité, de la géologie* (DE LA MAUVAISE GÉOLOGIE SOUVENT), comme M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir.

Je me contente, pour tout commentaire, de souligner ici cette dernière phrase, des plus suggestives.

Dans son chapitre VI (p. 131), consacré aux applications de la géologie

(1) L. DE LAUNAY. *Géologie pratique et petit dictionnaire technique des termes géologiques les plus usuels*. — Engrais minéraux; sources; explorations minières; levés géologiques sommaires. Paris, Armand Colin, 1900. Un volume in-12 de 344 pages et 41 figures.

à la recherche et au captage des eaux, à l'irrigation, au drainage, à l'évacuation des eaux souillées et à l'hygiène publique, M. De Launay, après avoir (p. 134) montré combien l'excellent filtre constitué par les terrains sableux purifie convenablement, de même d'ailleurs que les grès et graviers, les eaux d'infiltration, fait remarquer

qu'il en est tout autrement dans la plupart des calcaires, dont les fissures ou diaclases constituent, en règle générale, des chenaux de circulation trop larges pour que la purification s'y fasse en aucune manière.

C'est donc une très grave erreur, ainsi que l'ont bien montré les explorations directes de M. Martel, de parler de niveaux d'eau dans les calcaires, alors qu'il peut y avoir un réseau hydrologique de ruisseaux souterrains plus ou moins larges, coulant par exemple sur une strate argileuse à la base, et cette erreur peut avoir des conséquences désastreuses si l'on en conclut à une purification certaine de ces eaux, qui peuvent parfaitement avoir traversé tout un massif calcaire et en sortir avec l'apparence de larges sources bien limpides, tout en restant exposées à la contamination superficielle.

Or les multiples expériences du passé et de tous les jours encore permettent, en Belgique comme à l'étranger, de constater que c'est *invariablement* l'ingénieur et nullement le géologue qui *s'illusionne* ainsi sur les qualités hygiéniques des eaux prônées ou du moins sur les *garanties de permanence* de celles constatées en pareil cas. Ce qui précède constitue donc, de même que l'extrait précédent, un plaidoyer irréfutable en faveur du rôle critique prépondérant du *géologue* en matière d'appréciation des eaux sortant des terrains calcaires.

Dans son excellent petit manuel : *Recherches des eaux potables et industrielles*, de l'encyclopédie des aides-mémoire Léauté (section de l'ingénieur) M. H. Boursault, chimiste à la Compagnie du Chemin de fer du Nord, et qui comme tel ne doit guère songer à défendre systématiquement l'importance du rôle du géologue et de la géologie, consacre la *Partie pratique* (p. 147) de son livre à l'exposé du mode opératoire. Après avoir exposé quelques généralités sur le but à atteindre et sur le champ des recherches, il aborde immédiatement les études géologique et hydrologique, et il dit (p. 149) :

Quelle que soit l'importance de la question traitée, il est de toute nécessité d'étendre l'étude bien au delà des lieux compris dans le périmètre des recherches.

Cette étude doit comprendre, avant tout, la géologie locale; on s'attache à connaître non seulement la nature des terrains intéressés, mais surtout l'allure des couches et leur puissance; la structure et la composition minéralogique des roches, pour en déduire des données sur la perméabilité et sur la qualité des eaux qui circulent à leur contact. L'examen doit s'étendre à tout le parcours qu'on veut utiliser; on le suit avec soin dans les terrains traversés, depuis le lieu de pénétration jusqu'aux points d'émergence.

L'auteur entre même dans le détail de l'étude géologique, qu'il

préconise comme *base préalable*; il dit qu'il faut s'attacher même aux constatations et déterminations paléontologiques, aux modifications d'aspect et de caractères que présentent les dépôts, suivant qu'ils sont intacts ou altérés (oxydés ou décalcifiés). Il attire aussi l'attention sur les changements d'aspect qui, en profondeur, rendent parfois les roches méconnaissables si on ne les caractérise que par leur aspect d'affleurement.

Quel est, en Belgique surtout, l'ingénieur hydrologue qui se croirait à même de résoudre ces multiples problèmes que présente parfois l'étude des projets de drainage souterrain !

L'étude géologique terminée, il faut s'en servir pour dresser des coupes hydrologiques... Quand l'étude préalable est terminée, il devient nécessaire de la compléter et surtout de la préciser par une enquête minutieuse sur place. Elle doit porter avant tout sur l'examen des divers terrains au point de vue du facies local et de la stratigraphie.

L'auteur poursuit ensuite, mais c'est plutôt le rôle de l'ingénieur qu'il a alors en vue, et il montre toutes les difficultés qui l'attendent dans ce laborieux sujet de l'élaboration d'un projet de recherche de captage et d'adduction d'eaux potables.

Il doit être entendu que l'ingénieur des mines, qui, en France surtout, est souvent géologue professionnel ou enseignant, est à même, bien plus que l'hydrologue ou l'ingénieur n'ayant pas eu à s'occuper spécialement de géologie, de traiter ces questions avec une compétence suffisante pour le faire dans de bonnes conditions.

Voici, toutefois, ce que dit un éminent ingénieur des mines de Paris, M. Léon Janet, spécialiste en matière d'hydrologie des calcaires crayeux et qui commence en ces termes la *Conférence de géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables*, qu'il a donnée le 11 juin 1900 à la Société géologique de France (1) :

Il est peu de questions où la géologie joue un rôle plus essentiel que dans le captage et la protection des sources d'eaux potables. Ce rôle a, il est vrai, été longtemps méconnu, mais aujourd'hui, en raison de l'importance de plus en plus grande que l'on attache à toutes les questions d'hygiène, on commence à reconnaître qu'il est indispensable de prendre l'avis d'un géologue toutes les fois qu'il s'agit d'utiliser une eau pour l'alimentation d'une agglomération humaine. Tout récemment, une commission, composée de représentants des Ministères de la Guerre, de l'Instruction publique, de l'Agriculture et des Travaux publics et de l'Intérieur, et comprenant deux de nos plus éminents confrères : M. Michel Levy, membre de l'Institut, directeur du Service de la Carte géologique de France, et M. Munier-Chalmas, professeur à la Faculté des sciences de Paris, a proposé de consulter toujours un collaborateur du Service de la

(1) LÉON JANET, *Conférence de géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables*. (BULL. DE LA SOC. GÉOL. DE FRANCE, 3^e série, t. XXVIII, n^o 5, pp. 532-548.) Voir aussi l'intéressante discussion qui a suivi cet exposé; pp. 54-55.

Carte géologique avant de commencer l'instruction des projets de captage et d'adduction d'eau.

L'auteur, après avoir rappelé la nécessité du concours du chimiste, du micrographe et du médecin, ajoute : « mais C'EST L'EXAMEN GÉOLOGIQUE QUI DEVRA VENIR EN PREMIÈRE LIGNE ».

Passons maintenant au récent rapport officiel dont parle M. Janet et présenté à M. le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, par M. *Henri Monod*, conseiller d'État, membre de l'Académie de médecine, Directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques.

Dans le chapitre de ce rapport consacré aux *Dispositions scientifiques et administratives à prendre pour l'examen des projets d'adduction d'eau potable*, le rapporteur signale que :

Le premier résultat, assez inattendu, de notre étude, fut de montrer que les garanties actuellement données à la protection de la santé publique dans l'instruction des affaires d'adduction d'eau sont insuffisantes et doivent être étendues.

M. Jules Legrand avait fort bien indiqué, au Sénat, les trois éléments qui composent en cette matière une instruction complète :

« D'après les plus récents travaux scientifiques, disait-il, il est » établi que l'analyse chimique ne suffit plus. Il faut y joindre l'analyse » microbiologique et en outre utiliser les données fournies par la » géologie sur la nature des terrains traversés par les eaux. »

Ce troisième élément, reprend le rapporteur, les *données géologiques*, a été jusqu'ici, non pas omis, mais un peu négligé, relégué au troisième plan. *Il a paru à votre Commission qu'il devait passer au premier.*

L'examen géologique doit, en effet, *précéder* l'analyse, car celle-ci est inutile si celui-là est défavorable. A quoi sert l'assurance qu'une eau est excellente au point de vue chimique, qu'on n'y trouve aucun microbe pathogène, *si cette eau est captée dans des terrains tels que SA COMPOSITION EST SUJETTE A D'INÉVITABLES VARIATIONS?* Et *bonne* aujourd'hui, elle peut être *mauvaise* demain, si à certains endroits de son parcours, ou sous l'influence de certaines circonstances, par exemple à la suite de grandes pluies, elle est exposée à recevoir des infiltrations de marécages, de bourbiers, de mares ou d'autres milieux infectés?

La Commission a donc émis l'opinion que l'examen GÉOLOGIQUE doit être placé au SEUIL de toute l'instruction (1).

Par qui cet examen doit-il être fait?

(1) Je me suis permis, en rapportant ici ce texte, d'en souligner quelques passages particulièrement intéressants pour la thèse défendue dans le présent exposé. (E. V. d. B.)

Le rapporteur, répondant ensuite à cette question, montre que cette étude doit être faite *sur place* et non simplement d'après des cartes.

Sur la proposition de M. *Michel Lévy*, directeur du Service de la Carte géologique de France, la Commission a adopté avec empressement l'idée « de confier ce travail PRÉLIMINAIRE aux collaborateurs du Service géologique » qui, en France, sont actuellement au nombre de soixante-cinq, et le rapporteur ajoute (p. 6 de la brochure officielle) que « si l'étude géologique du terrain ne donnait pas des résultats nettement défavorables à l'eau proposée, l'instruction serait *poursuivie* par l'analyse chimique et l'analyse bactériologique ».

Il serait intéressant de savoir ce que pense M. l'ingénieur Verstraeten de tout ceci et s'il se propose de traiter le groupe des hautes autorités techniques, médicales, scientifiques et administratives, dont se compose la Commission officielle française (1), avec la même désinvolture que celle qu'il a montrée envers ses collègues Rutot et Van den Broeck, et envers ce dernier spécialement quand il exposait, en 1890 (voir pp. 458 et 460), son projet de *marche rationnelle* d'étude d'un projet de drainage qui est absolument conforme à la thèse défendue par la Commission française de 1900!

Il restera à mon contradicteur la ressource de traiter celle-ci de plagiaire et de dire, que puisqu'elle répète *aujourd'hui* ce que j'ai énoncé *il y a dix ans*, elle doit avoir tort, tout aussi bien que moi, et que *lui seul*, M. Verstraeten, a raison *contre tous*!

Eh bien! voici tranché, par l'arbitrage le plus autorisé qu'on puisse réclamer, le différend qui oppose M. l'ingénieur Verstraeten à nous ainsi qu'à ses confrères les plus distingués, aux géologues les plus éminents, à la Commission gouvernementale française et à la thèse que, avant tous ceux cités au cours de mon travail et ici rappelés, j'ai exposée depuis 1890.

Il s'agit du **Gouvernement français** qui, ayant à défendre les intérêts

(1) Cette Commission se composait de : MM. *Jules Legrand*, député, président; *Brouardel*, membre de l'Institut, doyen de la Faculté de médecine de Paris, président du Comité consultatif d'hygiène publique de France; *Mastier*, conseiller d'État, directeur de l'Administration départementale et communale; *Henri Monod*, conseiller d'État, membre de l'Académie de médecine, directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques; *Dr Pouchet*, professeur à la Faculté de médecine, membre du Comité consultatif d'hygiène publique de France; *Liard*, directeur de l'enseignement supérieur au Ministère de l'Instruction publique; *Munier-Chalmas*, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Paris; *Dr Vaillard*, médecin principal de 1^{re} classe, professeur au Val-de-Grâce; *Dr Descour*, médecin major de 1^{re} classe, attaché à la 7^e direction du Ministère de la Guerre; *Michel Lévy*, membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, directeur du Service de la Carte géologique de France; *Babinet*, ingénieur en chef des ponts et chaussées; *Genty*, inspecteur de l'hydraulique agricole; *Philippe*, directeur de l'hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture, et *Dr Faivre*, secrétaire.

de l'hygiène et de la santé des trente-huit à trente-neuf millions d'habitants de ses trente-six mille communes, a décidé qu'il y avait lieu d'approuver et d'adopter les conclusions de la Commission gouvernementale et qui vient, par une *circulaire adressée aux Préfets des 86 départements* au nom du MINISTRE DE L'INTÉRIEUR, de régler officiellement la *marche de l'instruction des projets d'alimentation en eaux présentés par les communes*.

C'est la complète et absolue réalisation, ainsi rendue officielle et bientôt obligatoire pour toute la France (1), de MON PROGRAMME DE 1890, qui sera d'ailleurs reproduit, comme annexe finale de *comparaison*, à la suite du texte de la circulaire gouvernementale qui a, comme lui, pour but d'établir *le rôle initial de l'étude géologique* faite par un spécialiste dans l'élaboration des projets de recherche et d'adduction d'eaux alimentaires.

Voici le texte de la circulaire ministérielle :

Paris, le 10 décembre 1900.

LE PRÉSIDENT DU CONSEIL,
MINISTRE DE L'INTÉRIEUR ET DES CULTES :

A Monsieur le Préfet d.....

« Une circulaire d'un de mes prédécesseurs, du 23 juillet 1892, a tracé les règles à suivre pour l'instruction des projets d'alimentation en eau présentés par les communes.

» Depuis lors, à la suite d'observations qui ont été échangées devant le Sénat, le 30 mars 1899, mon administration s'est préoccupée de rechercher quelles mesures peuvent être prises pour abrégier les délais dans l'instruction des projets de captage et d'aménée des eaux destinées à l'alimentation publique.

» Une commission a été constituée à cet effet et elle a proposé des résolutions auxquelles j'ai donné mon assentiment.

» L'instruction des affaires de cette nature se présente sous un double aspect : le point de vue scientifique et le point de vue administratif.

» Une eau ne pouvant être utilisée pour l'alimentation qu'autant qu'elle a été reconnue salubre, la détermination de la salubrité de l'eau doit précéder l'examen de toutes les autres questions. Or, il résulte des travaux scientifiques les plus récents que, pour apprécier cette salu-

(1) Il reste encore à faire voter par les deux Chambres le *projet de loi*, qui vient d'être remanié et remis au point par la Commission spéciale, comme complément de ses travaux.

brité, l'analyse chimique ne suffit pas. Il faut y joindre l'analyse microbiologique et, en outre, utiliser les données fournies par la géologie sur la nature des terrains traversés par les eaux. L'examen géologique doit lui-même *précéder* l'analyse, car celle-ci est inutile si celui-là est défavorable; *on ne peut, en effet, utiliser une eau, si pure qu'elle soit à l'analyse, si elle demeure sujette à des causes de contamination* (1). Cette

(1) Je me suis permis de souligner ici cette phrase de la *circulaire ministérielle* parce que, de même que tout le paragraphe qui précède, elle permet de ne pas attacher trop d'importance à une malheureuse annexe des documents fournis par la Commission et parce qu'elle permet d'éviter d'entreprendre la très vive critique, d'ordre à la fois scientifique et hygiénique, que pourrait provoquer à bon droit cette œuvre *toute personnelle* d'un des membres ingénieurs de la Commission. Publiée malheureusement en ANNEXE du rapport de celle-ci, elle se trouve par conséquent fâcheusement présentée sous la responsabilité morale de la dite Commission.

Je considère comme un véritable devoir de m'expliquer sur ce sujet, dont il serait inutile de chercher à dissimuler la gravité.

Si, en ce qui concerne le but en vue, toutes les personnes au courant des desiderata que comporte l'étude rationnelle des projets de drainage d'eaux alimentaires se trouvent certainement d'accord pour féliciter la Commission spéciale française de son initiative éclairée, tendant à rendre hommage à l'importance des études géologiques préalables, au point de les avoir fait rendre obligatoires, il y a cependant de sérieuses réserves à faire lorsqu'on examine certain exposé faisant officiellement partie des documents publiés au nom de la Commission française. Je veux parler de l'étonnant *Rapport sur la défense des sources dites « vaucusiennes »* présenté par M. Babinet, ingénieur en chef des ponts et chaussées, rapport adjoint, au nom de la Commission, comme *troisième annexe* à son travail d'ensemble. Il suffit, pour caractériser ce qu'il faut penser de ce rapport, de citer sa phrase de début et de la mettre en regard des conclusions de l'auteur. « Une source peut être dite *vauclusienne*, dit M. l'ingénieur Babinet, lorsqu'elle est alimentée par des écoulements superficiels, même assez éloignés, à travers des terrains dont les fissures sont trop larges pour en assurer l'épuration dans des conditions satisfaisantes. » Or l'auteur, après de telles prémisses, conclut ainsi : « *On ne peut songer d'interdire absolument l'emploi des eaux vauclusiennes, car les sources les plus abondantes, indispensables pour alimenter les grandes agglomérations d'hommes, leur doivent souvent une partie de leur fort débit.* Dans les terrains calcaires, c'est le cas général. »

L'auteur a beau, après ceci, recommander deux palliatifs, efficaces dit-il, lorsque la communication d'une source avec la surface du sol *est bien prouvée*; il s'est condamné lui-même à fournir la démonstration qu'il n'a aucune conscience de sa responsabilité ni de la gravité de l'affreuse thèse défendue par lui en matière d'hygiène et de santé publique.

Cette « *défense des sources vauclusiennes* » énoncée dans la patrie des *Martel*, des *Gaupillat* et de leurs disciples en spéléologie, est si navrante, par son adjonction aux utiles et savants travaux de la Commission française, qu'on est en droit de douter que celle-ci ait réellement pu être appelée à *discuter* la thèse et les termes de cette ANNEXE. Quant à moi, je préfère admettre qu'elle n'aura pas même eu l'occasion d'en prendre connaissance au cours de ses délibérations et de ses discussions scientifiques. Grâce, d'une part, à la déclaration ministérielle ci-dessus soulignée, d'autre part, aux résultats

étude préliminaire sera confiée aux collaborateurs du Service de la Carte géologique de France. A cet effet, il sera dressé un tableau des géologues affectés aux différentes régions. Je vous ferai parvenir un exemplaire de ce tableau.

» Si l'état géologique du terrain ne donne pas des résultats nettement défavorables à l'eau proposée, l'instruction sera poursuivie par l'analyse chimique et l'analyse bactériologique.

» Le Comité consultatif d'hygiène publique de France, dans l'examen des projets d'amenée d'eau qui lui ont été soumis jusqu'à ce jour, a eu trop souvent à constater l'insuffisance, et parfois l'inexactitude manifeste, des analyses jointes aux dossiers de ces projets. On ne saurait ici s'entourer de trop de précautions, et vous apporterez un soin extrême au choix de l'analyste que vous chargerez, à la suite de l'avis du géologue, de procéder aux analyses de l'eau. »

La circulaire s'occupe, ensuite, de la question du paiement des indemnités, conséquence obligée des examens géologique, bactérioscopique et chimique, paiement qui doit être à charge des communes, mais qui représente une dépense minime. On a calculé, dit la circulaire, qu'en moyenne les indemnités dues au géologue et à l'analyste ne dépasseront pas ensemble 150 francs. En faisant connaître aux préfets leur intention de faire étudier un projet de distribution d'eau, les communes s'astreindront à joindre, à leur demande d'autorisation, une délibération par laquelle elles s'engagent à supporter les frais d'étude scientifique préalable.

La circulaire signale ensuite que pour les villes de plus de 5,000 habitants, la salubrité de l'eau ayant été reconnue par cette étude, l'autorisation nécessaire à l'exécution des travaux doit émaner du Ministre de l'Intérieur sur avis favorable du Comité consultatif d'hygiène publique de France. La circulaire montre l'avantage de cette mesure spéciale et de ces garanties, prises en faveur de tels centres de population, qui sont, en France, au nombre de 584.

Quant aux 35,586 autres communes de France, en cas d'avis favorable du géologue, du chimiste et du Conseil départemental d'hygiène, le Conseil d'hygiène d'arrondissement préalablement consulté, c'est au préfet qu'elles devront s'adresser pour obtenir l'autorisation nécessaire avant d'effectuer les travaux.

que l'on est en droit d'attendre de l'intervention attentive de *géologues compétents* dans l'instruction des projets de drainage alimentaire, on peut espérer que l'autorité supérieure, éclairée sur la valeur des sources « vauclusiennes », interprétera l'idée de leur « DÉFENSE » tout autrement que la malencontreuse annexe de M. l'ingénieur Babinet !

« En résumé, Monsieur le Préfet, les diverses parties de l'instruction d'une affaire d'adduction se poursuivront dans l'ordre que voici :

» Lorsqu'une commune voudra s'assurer le bienfait d'une amenée d'eau potable, elle vous en avisera en s'engageant à payer les indemnités de vacation au géologue et à l'analyste ;

» Vous chargerez le géologue désigné, comme il a été dit ci-dessus, de visiter les lieux et de vous adresser un rapport sur les conditions de pureté de l'eau et sur ses chances de contamination ;

» Si le rapport du géologue est défavorable, vous le communiquerez à la commune ;

» Si le rapport est favorable, vous chargerez l'analyste choisi par vous de procéder à l'analyse de l'eau ;

» Celui-ci s'entendra avec le maire pour le prélèvement des échantillons, puis vous adressera les résultats de l'analyse chimique et bactériologique de l'eau ;

» Lorsque le géologue aura constaté que le terrain est favorable, et qu'ensuite l'analyste aura constaté que l'eau est mauvaise, il est désirable que les deux praticiens se concertent pour rechercher si la mauvaise qualité de l'eau ne tiendrait pas à des causes accidentelles qu'il serait facile de supprimer.

» Vous enverrez l'avis du géologue et celui de l'analyste au maire de la commune en l'engageant, s'il y a lieu, à faire dresser un projet complet.

» La commune fera dresser ce plan par qui elle l'entendra et l'enverra au sous-préfet, lequel provoquera l'avis du Conseil d'hygiène de l'arrondissement et vous enverra le dossier avec la délibération de ce Conseil.

» Si la commune intéressée a plus de 5,000 habitants, ou si l'avis, soit du géologue, soit de l'analyste, est défavorable au projet et que cependant la commune y persiste, vous m'adresserez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France, sur l'avis duquel je statuerai.

» Si la commune a moins de 5,000 habitants et si les avis du géologue et de l'analyste sont favorables, vous statuerez après avis du Conseil départemental d'hygiène. Néanmoins, si la délibération du Conseil départemental d'hygiène est favorable à l'exécution et qu'un tiers des membres qui composent ce conseil demandent que l'affaire soit soumise au Ministre de l'Intérieur, vous me transmettez le dossier pour être soumis au Comité consultatif d'hygiène publique de France. »

.

La circulaire prévoit encore qu'aux cas de travaux de canalisation d'une certaine importance, d'édification d'ouvrages d'art ou de modifications devant être apportées, par les travaux en vue, au régime des eaux des vallées intéressées ou, enfin, s'il y a à tenir compte de l'organisation de dispositifs d'eau d'arrosage ou d'irrigation, le dossier devra être soumis à diverses autorités et administrations : Conseil général des ponts et chaussées, Administration de l'agriculture, Conseil d'État, etc. La circulaire règle la marche des dossiers en vue de ces diverses éventualités et, pour des renseignements plus précis, renvoie les préfets notamment pour l'étude des questions de simplification, de transmission et d'étude, au rapport — annexé à la circulaire — de la Commission qui a établi les bases de la nouvelle procédure.

La circulaire attire ensuite l'attention des préfets sur le rôle important qui va échoir au Conseil départemental d'hygiène, qui n'aura pas seulement à apprécier les avis donnés par les géologues et les analystes, mais aura aussi à s'occuper du mode de captage et de préservation des eaux et à rechercher si les besoins de la population en eau potable paraissent pouvoir correspondre aux quantités d'eau produites par les travaux projetés.

« On a trop souvent reproché aux conseils d'hygiène de manquer d'initiative et d'activité. Pourtant ces assemblées sont habituellement composées d'hommes intelligents, instruits, dévoués au bien public. Il vous serait possible d'ailleurs, si vous le jugiez utile, de leur adjoindre de nouveaux éléments. L'article 4 du décret du 18 décembre 1848 permet au Ministre de l'Intérieur de le faire. Il conviendrait, autant que les résidences le permettront, de comprendre dans le Conseil départemental un géologue correspondant du Service de la Carte et un analyste compétent. Cette adjonction tendrait à établir l'harmonie entre les différentes parties du service sanitaire.

» Le régime nouveau, institué par la présente circulaire, donnera une utile impulsion aux conseils départementaux d'hygiène. Je ne doute pas, en effet, que ceux-ci ne mettent leur honneur à exercer avec clairvoyance et prudence les attributions nouvelles qui leur sont confiées et qui intéressent tellement la sauvegarde de la santé publique. »

*Le Président du Conseil,
Ministre de l'Intérieur et des Cultes,*

WALDECK-ROUSSEAU

Je livre, enfin, aux méditations de M. l'ingénieur Verstraeten, la comparaison du texte officiel et gouvernemental qui précède avec celui de mon exposé du 15 juillet 1890 (1), indiquant la manière dont je comprenais, dès cette époque, la *marche rationnelle* de l'ÉLABORATION D'UN PROJET DE DRAINAGE OU DE CAPTATION D'EAUX ALIMENTAIRES.

Les réflexions que feront faire à mon honorable contradicteur la comparaison de ces deux textes me consoleront largement de la virulence des attaques dont a été l'objet l'exposé, reproduit ci-dessous, de ce que j'appelais la *marche rationnelle* de ces études, laquelle actuellement me paraît avoir une allure beaucoup plus *trionphale* que la « *vieille marche* » préconisée par mon honorable contradicteur.

RAPPEL DU PROGRAMME D'ÉTUDE

DES PROJETS DE DRAINAGE OU DE CAPTATION D'EAUX ALIMENTAIRES

PRÉSENTÉ A LA SÉANCE DU 15 JUILLET 1890

DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

par E. VAN DEN BROECK

« L'étude d'un projet de drainage ou de captation d'eau comprend des points de vue très divers. La marche rationnelle consiste à s'adresser d'abord à la *géologie*, qui détermine la structure et les relations générales des couches, ainsi que leurs relations avec les nappes ou ressources aquifères qu'elles contiennent, qui permet de dresser des coupes rationnelles des terrains, de déterminer leurs conditions de perméabilité ou d'imperméabilité, ainsi que les difficultés qu'elles offriront aux travaux de mine, de fouille, de construction, etc. Vient ensuite l'*hydrologie*, qui procure le nivellement, le fractionnement des nappes, les quantités d'eau disponibles, le débit moyen avec les minima. La *chimie* et la *bactériologie* doivent intervenir ensuite pour déterminer la composition des eaux et les variations qu'elles peuvent présenter périodiquement, leur nocivité ou leur innocuité au point de vue hygiénique. »

« C'est seulement lorsque ces éléments sont acquis que l'*ingénieur* devrait entrer en ligne pour rechercher les conditions d'établissement les plus favorables et les mieux appropriées aux données géologiques et hydrologiques. Son projet, établi alors sur des bases sûres, peut être livré ensuite aux *financiers*, aux *autorités compétentes* et aux conseils *juridiques*, dont le rôle est tout indiqué. »

(1) *Loc.cit.* (Voir note 1 de la page 440.)

NOTE ADDITIONNELLE N° 1 (1).

Les ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux par opposition à celles des calcaires.

Dans son exposé contradictoire en ce qui concerne les ressources des terrains rocheux non calcaires, M. l'ingénieur Verstraeten, rencontrant ce qu'a dit à ce sujet M. Éd. Dupont, avait certainement le droit strict de prendre à la lettre, pour les combattre, les expressions dont s'est servi l'honorable Directeur du Musée d'histoire naturelle de Belgique.

Dans son étude sur *les phénomènes généraux des cavernes en terrains calcaires et sur la circulation souterraine des eaux dans la région de Han-Rochefort* (2), M. Éd. Dupont a surtout voulu mettre en opposition ce qui se passe dans *les calcaires* avec ce qui est la règle générale dans nos terrains anciens, ou primaires, *non calcaires*.

Pour désigner ceux-ci, il a, dans son exposé relatif à la région de Han-Rochefort, employé, d'une façon générale et synthétique, l'expression *schistes*, alors qu'il visait non moins, et même plus, les *quartzo-schisteux*, c'est-à-dire les GRÈS et les PSAMMITES.

C'est tellement vrai que la légende de la petite carte géologique dont s'accompagne son travail fournit les trois termes suivants pour désigner les terrains étudiés par lui : *calcaires et schistes frasniens, calcaires givertiens* (c'est surtout dans ceux-ci que se localisent la presque totalité des phénomènes exposés) et *SCHISTES ET PSAMMITES COUVINIENS*, disposés au contact des précédents.

En cherchant à renverser l'argumentation de M. Dupont, qui avait surtout en vue les ressources aquifères que l'on peut demander, non précisément aux seuls schistes, mais surtout aux *quartzo-schisteux* : grès et psammites, M. Verstraeten a profité assez habilement, dans sa critique, d'un défaut de forme, peut-être voulu cependant par M. Dupont, pour donner plus de force à ses conclusions si nettes relatives à l'hydrologie des calcaires.

Si à cela M. Verstraeten répondait que, dans l'exposé hydrologique précité, M. Dupont, tout en se basant sur ce qu'il a vu dans la région de Han-Rochefort, a émis *une thèse générale* applicable à l'ensemble de nos terrains primaires, je n'hésiterais pas à accepter cette interprétation si large ; mais alors je l'accepte avec tous les éléments d'appréciation qu'elle comporte et que voici :

Si M. Verstraeten s'était donné la peine de parcourir les chapitres

(1) Voir la note 2 de la page 406.

(2) *Loc. cit.*, voir page 435, note 1.

d'*hydrologie souterraine* des divers *mémoires explicatifs* consacrés par M. Ed. Dupont aux nombreuses planchettes primaires dont il a, de 1878 à 1885, effectué le levé géologique détaillé, et s'il avait examiné les cartes elles-mêmes, ainsi que les coupes qui les accompagnent, il aurait pu s'assurer : 1° que, faisant opposition aux bandes *calcaires* étudiées et levées par M. Dupont dans le bassin de Dinant, et les séparant les unes des autres, ce sont pour ainsi dire *exclusivement* les *PSAMMITES* et les *GRÉS* du Condroz, et nullement les *SCHISTES* de la Famenne, qui alternent avec lesdits bassins ou plis calcaires qu'ils enserrent.

2° Que toutes les observations faites par M. Dupont sur l'hydrologie et sur le régime aquifère des terrains primaires non calcaires dont il s'est occupé ont porté pour ainsi dire *constamment* sur le *quartzo-schisteux* famennien et seulement à titre très exceptionnel sur le *schiste* famennien, dont l'étude et l'exposé des propriétés étaient d'ailleurs, dans ces mêmes travaux de levé géologique, confiés à M. Mourlon.

3° De ce qui précède, il résulte aussi que les conseils fournis par M. Dupont aux cultivateurs de donner plus de profondeur à leurs puits, et d'y adjoindre éventuellement des bouts de galeries drainantes, sont absolument justifiés dans le *quartzo-schisteux*, qu'il avait spécialement en vue.

En conséquence, la discussion ouverte par M. Verstraeten au sujet de ces conseils est essentiellement une *querelle de mots* plutôt qu'une critique à bases scientifiques, tenant compte de la réalité des faits.

Comme élément de documentation à l'appui de ce qui précède, je reproduis ci-après, en entier et en soulignant quelques passages, le court chapitre consacré par M. Dupont à l'*hydrographie*, pages 53-54, dans son *Explication de la feuille de Clavier* (Bruxelles 1883).

HYDROGRAPHIE. — Nous avons déjà observé combien les cours d'eau sont de peu d'importance sur la feuille de Clavier. On ne peut guère y citer que le ruisseau d'Ombre et ses affluents.

Situation des villages (1). — On remarquera que trois villages ou hameaux sont établis sur ces cours d'eau : Ocquier, Chardeneux et Amas. Sauf Terwagne, qui est situé aux bords de la Chavée-de-Bonne, tous les autres, au nombre de douze, sont bâtis sur les plateaux. Onze d'entre eux le sont sur le terrain *quartzo-schisteux*, c'est-à-dire sur les *psammites devoniens* et sur le terrain houiller, mais sur les bords de leurs massifs, de manière à être rapprochés des surfaces calcaires que recouvrent les meilleures terres à cultiver. Or, ces terrains *quartzo-schisteux*, étant souvent fortement en prominenée, sont d'un accès très difficile pour les charriages, et l'on peut se demander les raisons qui ont déterminé le choix de ces emplacements.

Puits dans les terrains quartzo-schisteux. — Je suis porté à croire que l'impossibilité de se procurer l'eau par des puits dans le calcaire en a été le motif déterminant. Lorsque l'on creuse des puits dans les *psammites devoniens* ou dans le terrain houiller, on obtient au contraire de l'eau à peu de profondeur.

(1) Ces sous-titres des paragraphes se trouvent, dans les textes des cartes géologiques de l'ancien service, indiqués *en marge* et faisant l'office de sommaire.

Cette distribution des villages reste constante dans le Condroz. — Il est exceptionnel qu'il en existe ailleurs que sur les cours d'eau, ou à la limite du calcaire et du terrain *quartzo-schisteux*, quand leurs bandes alternatives n'ont pas trop de largeur.

La thèse de M. Dupont se trouve ici fort nettement exposée, et elle est bien différente de l'interprétation que lui a attribuée M. Verstraeten. Elle peut se résumer comme suit, lorsqu'on complète ce qui précède par ce qu'a dit M. Dupont dans son étude sur Han-Rochefort :

Vu l'absence, à l'éala, ou vu seulement la grande profondeur des ressources aquifères du calcaire, il est trop coûteux pour des populations agricoles de chercher à y creuser des puits (1). Dans les roches non calcaires, et spécialement dans les grès et dans les psammites du *quartzo-schisteux*, il existe, à une faible profondeur, des eaux d'infiltration dont les ruraux ne profitent généralement pas assez. En approfondissant leur puits et même en y adjoignant éventuellement quelques bouts de galeries drainantes, ils pourraient souvent arriver à augmenter ces ressources et à les rendre plus constantes.

Il est intéressant et quelque peu suggestif, après cette mise au point de la thèse de M. Dupont, de relire, soit ce qu'en a dit M. Verstraeten (voir pp. 99-100 de son exposé dans notre *Bulletin*), soit les extraits reproduits pages 406-407 du présent travail.

Partant de ce fait, maintenant établi, que M. Dupont, en donnant ses conseils d'utiliser plus largement les ressources aquifères des terrains non calcaires, avait bien en vue le *quartzo-schisteux*, on peut encore aisément fournir à M. Verstraeten la preuve que des galeries filtrantes établies dans le *quartzo-schisteux*, c'est-à-dire dans des alternances de schistes, de grès et de psammites, peuvent débiter des volumes d'eau dépassant de beaucoup le besoin des populations rurales, c'est-à-dire des fermes et même des villages. Il me suffira pour cela de lui signaler le passage suivant de l'étude consacrée en 1898 par M. le professeur Gosselet à l'alimentation en eau des villes et des industries du nord de la France (2).

La ville de Jeumont est pour le moment la seule du département du Nord où l'alimentation en eau soit assurée par une galerie. Au sud de Jeumont se trouve un plateau de schiste et de grès devonien en couches fortement inclinées. La pluie qui tombe sur le plateau filtre à travers le limon. Elle pénètre dans les joints des couches, particulièrement à la séparation des grès et des schistes. Elle descend jusqu'à ce que la compacité de la roche soit assez grande pour boucher complètement toutes les fissures. Il y a donc sous le plateau une nappe aquifère irrégulière en profondeur et en activité.

(1) D'après M. Gosselet, ce même cas se présente dans certaines régions de la France; mais des communes voisines ont pu obvier à cet inconvénient en s'unissant pour faire creuser, à frais communs, un puits à grande profondeur dans le calcaire.

(2) *Loc. cit.*, voir page 425, note 2 (p. 286 du texte de M. Gosselet).

L'éminent ingénieur-hydrologue, M. Moulan, a percé une galerie perpendiculaire aux bancs. Il a recoupé par la galerie tous les joints par où l'eau filtrait. Il n'a eu qu'à la prolonger jusqu'à ce qu'il ait pu obtenir la quantité d'eau qui lui était nécessaire.

M. Verstraeten ignorerait-il qu'également en Belgique, M. Moulan a créé avec le même succès des *galeries drainantes d'eaux potables*, creusées dans le quartzo-schisteux (schistes et grès, devonien) à Binche et à Fontaine-Valmont; ignore-t-il qu'il en existe une pareille à Seraing et que l'on va en construire une autre à Ougrée? A Charleroi enfin, les galeries drainantes du plateau de Nalinnes, bien que suralimentées partiellement par un manteau meuble et perméable de sable bruxellien, trouvent une base d'alimentation dans leur traversée d'un massif de grès et de psammites du Devonien inférieur. C'est dire que l'application des conseils de M. Dupont n'a pas été moins utile aux ingénieurs qu'aux paysans!

Et puisque M. Verstraeten cherche constamment à opposer les uns aux autres les géologues qui se sont occupés de l'hydrologie des terrains primaires et à laisser croire qu'ils ne sauraient se mettre d'accord, voici la reproduction intégrale d'un exposé de M. le professeur X. Stainier, extrait de la *Monographie agricole de la région du Condroz*, publié par le ministère de l'Agriculture au cours de l'année 1900. On se convaincra en le lisant que M. Stainier se rallie entièrement à la thèse de M. Dupont sur l'hydrologie du Condroz et sur les différences radicales des régimes aquifères de ses deux éléments caractéristiques : les terrains calcaires et les quartzo-schisteux.

Le régime hydrologique du Condroz, par M. le professeur X. STAINIER.

Il est un fait qui ne peut manquer de frapper celui qui parcourt le Condroz : presque tous les villages y sont cantonnés dans les sites qui semblent, au premier abord, leur convenir le moins. Ils se trouvent au sommet des plateaux qui recouvrent les protubérances de psammites, où ils sont battus par les vents froids, éloignés de leurs meilleures terres, qui sont le plus souvent situées dans les vallées calcaires. Cette situation est due au régime hydrologique.

Sur ces plateaux, en effet, la nappe aquifère, retenue par la couche d'argile détritique, est près de la surface, alors que sur les plateaux calcaires et dans les vallées de calcaire carbonifère, les roches, extrêmement fissurées, très perméables, laissent passer les eaux avec facilité. Les grandes vallées du Hoyoux, de la Lesse, de la Mollignée, etc., drainent ces régions à une grande profondeur, et il faut descendre jusqu'à leur niveau, au moyen de puits extrêmement profonds, pour rencontrer une nappe aquifère.

Cette structure géologique spéciale crée aussi un régime hydrographique bien curieux. Un grand nombre de ruisselets naissent sur les flancs des rides de psammites et s'écoulent, suivant la pente, jusqu'au moment où ils arrivent sur les bancs de calcaire. Là, le plus souvent, ils s'engouffrent dans les crevasses du calcaire ou dans

des cavités appelées *aiguigeois*, *chantoirs* ou *agolinas*, suivant les régions. Après un parcours souterrain plus ou moins long, ces eaux reparaissent sous forme de griffons, généralement très abondants au fond des vallées principales.

On connaît assez les curieux phénomènes hydrologiques des environs de Han, de Rochefort, etc. Les eaux qui ont ainsi circulé à la surface du sol, souvent polluées, ne sont pas toujours débarrassées de leurs germes nuisibles dans leur trajet souterrain. Elles sont alors d'autant plus dangereuses que, les matières terreuses qu'elles véhiculaient s'étant déposées, elles jaillissent très fraîches et donnent l'illusion d'eaux très pures.

Pendant la saison pluvieuse, le fond des vallées calcaires est parfois parcouru par un cours d'eau qui tarit en été. Dans le pays, ces vallées sont appelées des « chavées ».

Dans les régions à sous-sol schisteux, il n'existe pas de nappes aquifères. Les eaux pluviales ruisselant toujours à la surface du sol donnent, au contraire, au cours d'eau une allure torrentielle.

Sur les roches quartzo-schisteuses du Rhénan et du Couvinien, les eaux peuvent s'infiltrer à travers les fissures du grès à une profondeur parfois assez considérable et donner naissance à des sources d'une remarquable pureté.

NOTE ADDITIONNELLE N° 2.

I. — Le dispositif des « serrements » appliqué aux terrains aquifères meubles et dans les terrains rocheux fissurés.

M'occupant d'examiner en quoi consistent les arguments critiques fournis par M. Verstraeten dans son *Examen hydrologique des bassins du Hoyoux et du Bocq* (1), je disais, page 437, que les données qu'il cherchait à opposer, tant à la thèse de M. l'ingénieur Putzeys qu'aux vues des géologues, consistaient en critiques d'ordre technique plutôt que scientifique.

Ce travail, en effet, rencontre principalement les soi-disant défauts et discute les résultats trop optimistes, semblerait-il, d'un système de jaugeage naguère employé pour apprécier le *débit* des sources du parc de Modave, dans la vallée du Hoyoux. L'exposé de M. Verstraeten critique aussi, comme l'avait fait avant lui déjà, M. Putzeys, un projet de dispositif de *captage* de ces sources qui, il faut bien le reconnaître, n'était guère heureux.

Rappelant ces données de *critique technique*, j'ajoutais, au sujet de cet exposé, qu'il ne renfermait pas autre chose.

En réalité, ce n'est pas tout, car un troisième point critique, toujours d'ordre technique, a encore été soulevé par M. Verstraeten. Comme il n'a, avec le régime aquifère des terrains rocheux calcaires que des rapports

(1) *Loc. cit.* (Voir note 2 de la page 436.)

indirects quoique pouvant, envisagés au point de vue scientifique et pratique, devenir intéressants, j'ai préféré ne l'aborder que dans ces Notes additionnelles.

Il s'agit du dispositif de retenue des eaux, connu sous le nom de *serrement*, qui a pour but de relever le niveau des eaux souterraines en amont de la prise ou du captage effectué pour le drainage de ces eaux.

Dans son *Étude hydrologique*, intitulée : *Les sources des vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq* (1), M. l'ingénieur E. Putzeys avait nettement condamné l'application des *serrements* aux terrains calcaires drainés en vue de l'obtention d'eaux alimentaires, alors qu'il préconisait au contraire ce dispositif pour les dépôts aquifères meubles et sableux, même les moins consistants.

M. Putzeys, dans le travail précité, avait (voir pp. 24-25 du Procès-Verbal de la séance du 23 janvier 1894 de notre Société) fort bien montré les graves inconvénients que peuvent parfois présenter les *serrements* établis en terrains fissurés, sauf en vue de certains rôles particuliers exposés par lui à cette occasion. Le but de ces dispositifs était alors tout autre de ce qu'il est en massifs aquifères meubles et d'imprégnation générale, tels que ceux que M. Putzeys se proposait précisément en ce moment-là, comme chef du Service des eaux de Bruxelles, d'établir en connexion avec les galeries drainantes du Bois de la Cambre et de la Forêt de Soignes.

Sur cette question des *SERREMENTS*, M. Verstraeten, dans son étude critique précitée, défend une thèse *diamétralement opposée* à celle de M. Putzeys. Il reconnaît toutefois avoir lui-même établi, au cours de ses travaux d'autrefois pour la ville de Bruxelles, un premier serrement provisoire dans le *limon gras* de la vallée où se trouve la galerie drainante d'Ophain-Lillois, puis un deuxième, plus en amont, dans du Bruxellien compact. Puis il ajoute :

Mais, au Bois de la Cambre, les terrains ne conviennent *absolument pas* : ils sont à la fois trop perméables et trop peu résistants, et l'on a choisi, pour y fonder un barrage, l'endroit le *plus défavorable* : une partie de *sables bouillants* pour les travaux desquels j'eus à vaincre *les plus grandes difficultés*. Personne n'imaginerait sans doute de jeter un mur en *travers d'une rivière coulant dans un lit de sable*. Il est clair que le relèvement de l'eau en amont ne serait d'abord qu'insignifiant et que *bientôt* il provoquerait des affouillements à la base et sur les côtés de l'obstacle, pour *le miner et le détruire avec tous les ouvrages voisins*.

L'auteur, dont je me suis permis de souligner ici quelques passages topiques, destinés à être rappelés tantôt, ne veut absolument pas admettre la possibilité de succès de ce barrage en plein sable inconsistant et aqui-

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 3 de la page 637.)

fière, proposé par son hardi successeur au Service des eaux, et, page 165, il revient sur le même sujet, pour ajouter :

Contrairement à ce qui a été soutenu, un serrement dans les sables bouillants est une *hérésie*, et celui construit sous le Bois de la Cambre, *si jamais il fonctionne*, ne sera que *compromettant* pour l'ouvrage qu'il traverse : au contraire, un serrement sera de *bonne application dans les calcaires du Condrex* à la double condition d'être installé sous la nappe minima et encastré dans un massif compact et résistant.

Il semblerait que ce qui a si complètement désappointé M. Verstraeten et l'a dissuadé de l'idée qu'un *serrement utile* peut pratiquement s'exécuter dans les sables aquifères du Bois de la Cambre, c'est une expérience personnelle assez malheureuse qu'il y a faite.

On lit, en effet, pages 41-42, tout à la fin du chapitre III (Les eaux du Bois et de la Forêt) de son étude de 1884 sur *Les eaux anciennes et les eaux actuelles de Bruxelles*, quelques détails sur un dispositif de *serrement* établi par M. Verstraeten à la Cambre et qui n'a pas réussi à faire monter à plus de 2 mètres, dans les terrains d'amt, les eaux que ledit serrement avait pour objectif d'y emmagasiner, dans une région peu judicieusement choisie, avoue implicitement M. Verstraeten, par suite de son altitude trop faible. C'est, dit encore l'honorable ingénieur, par suite de la précipitation avec laquelle il a fallu opérer qu'a été commise cette faute, à laquelle, ajoute-t-il, on eût cependant pu remédier en prolongeant de quelques dizaines de mètres le tube de serrement, dont l'extrémité se fût alors trouvée reportée en un point où le terrain atteignait 6 à 7 mètres d'épaisseur au-dessus du radier. Bref, c'est certainement d'expérience personnelle que les serrements en sables meubles aquifères n'ont pas laissé de bons souvenirs à M. Verstraeten, et de là les sombres prévisions et l'amère critique des projets dont s'occupait, en 1894, M. l'ingénieur Putzeys.

Or, le dispositif de serrement qu'a fait édifier M. E. Putzeys successivement en quatre points différents du Bois de la Cambre et de la Forêt de Soignes, en plein sable aquifère et mouvant, — et c'est là un véritable tour de force, il faut bien le reconnaître, — bien loin d'être, comme le disait M. Verstraeten, une *hérésie* et de *compromettre* quoi que ce soit, a partout ici constitué une *réussite splendide* ! Ces quatre serrements fonctionnent admirablement, font économiser la dépense d'eau suivant le chiffre précis des besoins journaliers et permettent de reconstituer d'énormes réserves aquifères, qu'il eût été absolument impossible de récupérer autrement après l'achèvement des travaux de drainage.

C'est ainsi que, grâce à ce précieux dispositif, si judicieusement et si hardiment appliqué à la distribution d'eau de Bruxelles, on peut actuellement régler les prises d'eau faites au Bois, entre les limites de zéro mètres cubes et 10 à 12,000 mètres cubes, à la convenance de la Direction actuelle

des travaux; c'est-à-dire que M. l'ingénieur Putzeys ne demande au réservoir des sables aquifères bruxelliens qu'exactlyment ce dont il a besoin : aujourd'hui 2.000 mètres cubes, demain 3, 4 ou 5.000 mètres cubes, puis *zéro, ad libitum*, à condition, bien entendu, de ne pas brusquer les prises et d'éviter les coups de bélier.

Les serrements précités ont fonctionné depuis plusieurs années, pendant l'exécution de l'avancement des travaux, et depuis pendant un an et demi (à la date actuelle de mars 1904). Ils ont tous été *fermés*, puis *réglés* de façon à remplir le programme ci-dessus.

Bref, grâce aux utiles serrements qu'il a ainsi établis, sans s'arrêter aux sinistres prédictions de son prédécesseur au Service des eaux de Bruxelles, M. l'ingénieur Putzeys est actuellement à même, non seulement de fournir une quantité d'eau bien supérieure aux évaluations de M. Verstraeten, mais encore de dériver, jour par jour, les volumes nécessaires et voulus, sans gaspiller un mètre cube d'eau!

Ces merveilleux résultats, si différents des prédictions pessimistes énoncées, il y a sept ans, par M. l'ingénieur Verstraeten, n'auront que trop clairement prouvé à mon honorable contradicteur que l'on trouve toujours très aisément l'occasion d'apprendre et de faire subir à ses idées et à ses convictions des évolutions parfois aussi profondes qu'inattendues. Il aura pu se dire aussi, en voyant de telles constatations s'imposer contre ses vues dans le domaine spécial de sa compétence, qu'il y a plus de risques encore à vouloir sortir des « limites de sa spécialité », surtout en vue de tout révolutionner! Dans ces conditions, on peut répéter avec lui, mais avec une portée d'application quelque peu différente, qu'il est dangereux « de prétendre à des rôles pour lesquels on ne possède ni le savoir nécessaire ni l'expérience voulue » (1).

Mais cette constatation, toute incidente, ne saurait être le but de la présente Note additionnelle.

Si l'expérimentation a mis hors de doute que M. Verstraeten s'est complètement trompé dans ses prévisions en ce qui concerne l'application des serrements aux dépôts aquifères sableux, si inconsistants qu'ils fussent, la simple raison suffit pour faire reconnaître combien M. l'ingénieur Putzeys a raison de condamner au contraire l'application, que prône M. Verstraeten, du dispositif des SERREMENTS appliqué aux massifs aquifères des *terrains fissurés*.

Certes notre honorable contradicteur y mettait la condition qu'ils fussent installés sous la nappe minima et encastrés dans un massif compact et résistant.

Ainsi énoncé, cela paraît, sur le papier, fort simple; mais étant donné

(1) Voir page 37, § 3, de la brochure extraite du recueil gantois et intitulée : *Dissertations géologiques. Réponse à MM. Rutot et Van den Broeck.*

ce que sont souvent en réalité les « couches aquifères » en terrains calcaires fissurés, et tenant compte des *imprévus* que l'on rencontre dans les conditions d'homogénéité, de résistance et de compacité des roches calcaires, il y a là une notion d'aléa considérable, dont il faut tenir compte dans une large mesure.

Mais ce qui est plus grave et ce qui s'oppose au premier chef à l'établissement de serrements dans les massifs calcaires, c'est la crainte, que l'on peut légitimement éprouver, de modifier en quoi que ce soit, par de pareils relèvements des réserves et des écoulements souterrains, le régime aquifère et de circulation de ces terrains à larges fissures et à cavités internes.

Un tel *relèvement* s'opérant au sein du lacs de canaux et de galeries inaccessibles à l'observation directe, peut et doit souvent avoir les conséquences les plus fâcheuses, les plus inattendues, résultant soit de troubles profonds apportés à la circulation souterraine, ou amenant de regrettables stagnations, soit de causes non préexistantes de contamination ou d'influences délétères qui n'existaient point dans le réseau normal circuloire, antérieurement localisé dans des niveaux inférieurs.

Ici, par exemple, on risquera d'amorcer ainsi un *siphon* rocheux qui, se mettant à fonctionner, déversera, sans qu'on s'en doute, dans le torrent circuloire du calcaire, des réserves stagnantes, peut-être même croupissantes, pouvant être constituées aussi bien par des eaux louches ou contaminées que par des eaux pures et potables. Il aura suffi que tel réservoir localisé soit en communication, par voie de crevasses et d'aiguigeois ou de bétouires, avec l'un ou l'autre de ces charniers ou de ces écoulements d'habitations rurales dont les dangers ont été depuis longtemps déjà indiqués pour la plupart des plateaux calcaires fissurés, soumis à l'étude de spécialistes : spéléologues et géologues.

Ailleurs, par ledit relèvement dû au serrement, on se sera mis, sans le savoir, en communication avec l'une ou l'autre de ces cavités ou fentes (fermées ou colmatées plus bas seulement), où dévalent, sans filtration, les ruissellements de surface qui, en temps de pluies diluviennes ou de fontes brusques des neiges, sillonnent l'*écumoire* parfois formé par le massif calcaire. Autre part encore, le relèvement graduel des eaux souterraines leur fera rencontrer d'autres débouchés, amènera des points nouveaux de suintement et même de jaillissement, apparaissant alors sous forme de sources nouvelles, d'émergence plus élevée que les régions de captage.

Les eaux peuvent aussi être envoyées à *grande distance* par l'intermédiaire des canaux supérieurs nouveaux — et restant inconnus — inconsciemment mis à leur disposition (1). Toute cette modification du régime

(1) Il est à remarquer que, en règle générale, plus on s'élève au sein d'un massif rocheux, plus le nombre et les dimensions de ses fentes et de ses crevasses restées ouvertes augmentent.

aquifère, qui se fera à l'insu du constructeur de serrement dans les calcaires, tendra à contre-balancer, par les pertes mystérieusement subies, l'augmentation espérée du réservoir aquifère fourni par le calcaire, de même qu'elle risque d'amener la pollution de certaines des veines liquides alimentaires, dont on aura forcé le réseau circulatoire à se modifier, sans aucun contrôle possible.

Le régime apporté par l'établissement des sernements implique, comme corollaire, un jeu d'oscillations et de fluctuations du réservoir ainsi formé, jeu qui s'opérera à des altitudes auparavant soustraites à ces variations. Mais là encore il y a de nouvelles causes possibles d'altération des eaux.

Il suffit, en effet, de soumettre à des *alternatives* d'imbibition de ce genre certaines substances terreuses ou métalliques, concrétionnées ou d'imprégnation générale rocheuse, pour donner naissance à toute une série de *réactions chimiques* et de *décompositions*. Leurs produits et leurs résidus meubles et pulvérulents se trouveront alors dissociés ou dissous dans les eaux, chaque fois que celles-ci seront artificiellement ramenées aux niveaux d'attaque et de corrosion déterminés par l'*amplitude de la zone d'oscillation* que produit le fonctionnement du barrage ou serrement. Des apports pyriteux, sulfureux, séléniteux et autres peuvent donc être la conséquence du dispositif des sernements appliqué aux massifs rocheux calcaires.

Or personne n'ignore que les calcaires et surtout les calcaires anciens, plissés et redressés, constituent le *lieu d'élection* des minerais de toute nature, qui, d'ailleurs, ne représentent que le résidu spécial de phénomènes d'altération, particulièrement développés dans les calcaires du monde entier, grâce à la facile dissolution de cette roche.

On voit combien de causes, la plupart insoupçonnées, peuvent contribuer à modifier, avec le volume de la réserve primitive aquifère, la qualité et le degré de sécurité des eaux, et le danger est d'autant plus réel que ses causes *restant cachées*, il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'y porter remède.

De tels inconvénients, dans leur ensemble, rarement réunis d'ailleurs, ne peuvent être considérés comme une conséquence absolue et fatale des effets du serrement préconisé en terrain calcaire fissuré, préconisé par M. Verstraeten; mais il suffit que l'un ou l'autre des cas précités soit possible pour que le danger soit en vue. Il convient donc de *condamner absolument* le principe de l'adoption des *sernements* pour les massifs calcaires fissurés, en vue d'en augmenter le rendement comme eau alimentaire.

Cette prescription, qui s'applique surtout aux massifs rocheux des calcaires devoniens et carbonifères de notre pays, si fortement bouleversés et plissés, n'aura pas la même rigueur, évidemment, dans son application aux calcaires relativement réguliers et horizontaux, ou bien obliques ou

légèrement ondulés, tels, par exemple, que ceux de la série jurassique qui constitue l'élément de la ceinture secondaire du bassin de Paris.

Les beaux travaux d'hydrologie appliquée de M. l'ingénieur Imbeaux (1), consacrés à l'étude d'un projet d'alimentation d'eau pour la ville de Nancy, montrent un bon cas de régularité et d'homogénéité d'assises calcaires d'âge jurassique, à peine entrecoupées par quelques rares failles et dérangements de terrains. Ces failles, bien reconnaissables, sont normales aux couches, dont elles rabaissent par places les niveaux en une série de larges paliers; elles rompent à peine, en certains endroits, la régularité et l'uniformité d'allures des couches, où le calcaire alterne régulièrement avec des lits d'argiles et de marnes, constituant ainsi des niveaux tour à tour perméables et imperméables. Cette régularité d'allures géologiques est à son tour transmise aux niveaux aquifères considérés (au nombre d'environ 25), très distincts et intercalés entre ces diverses strates parallèles. On voit donc que le régime aquifère de tels calcaires constitue un cas *très différent* de celui présenté par nos calcaires rocheux fissurés, plissés, contournés et disloqués du Primaire franco-belge et de ses prolongements est-ouest, tant en Angleterre qu'en Allemagne.

Il est parfaitement possible, avec les dispositions de ces couches calcaires du Jurassique entourant le bassin de Paris, et notamment en Lorraine, d'arriver, à l'aide de forages de communication judicieusement disposés d'une part, et de l'application de galeries avec serremments appropriés d'autre part, à établir, dans de tels massifs calcaires, des dispositifs de drainage alimentaire dans lesquels la mise en communication de « nappes circulatoires » distinctes et superposées et le relèvement artificiel des réserves aquifères n'auraient nullement les inconvénients qu'offrirait de tels dispositifs dans nos calcaires rocheux plissés, redressés et largement fissurés. Seule une *étude géologique détaillée* peut permettre d'apprécier, en de tels cas, l'opportunité ou les inconvénients de travaux de ce genre, et seule elle pourra indiquer les mesures de protection à prendre, si on les exécute.

Il a d'ailleurs été montré par l'exposé, dans notre *Bulletin*, de travaux de captage aquifère exécutés à Dombasle, près de Nancy (2), que, dans des couches régulières de calcaire du type précité, on se trouve en présence de dispositions géologiques et aquifères rappelant de très près ce qui s'observe au sein des alternances ordinaires de dépôts meubles et réguliers d'allures, tour à tour perméables et imperméables, c'est-à-dire aquifères ou non. Enfin, au moment où j'achève de terminer (mars 1904) le texte de la présente annexe, M. C.-T. Moulan vient de présenter, à la Société

(1) *Loc. cit.* (Voir note 1 de la page 392.)

(2) CH. FRANÇOIS, *Le régime des eaux de la région de Dombasle-sur-Meurthe, notamment dans les terrains marneux de terrain secondaire.* (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL. DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. VII, 1893. Pr.-Verb., pp. 132-141.)

belge de géologie, un intéressant exposé (1), dans lequel il montre que les alternances quartzo-schisteuses du Devonien inférieur et celles du Devonien supérieur peuvent être utilisées, dans une certaine mesure, pour le drainage souterrain d'eaux alimentaires.

Les fissures de ces types de terrains (dans lesquels les grès et les psammites constituent l'élément d'accumulation et de circulation des eaux) *n'ont pas*, comme les canaux et les cavités du calcaire, — qui est infiniment plus attaquable et plus corrodé, — *l'inconvénient de s'élargir sans cesse* sous l'action chimique des eaux. De plus, tout ce que met en liberté *l'attaque des grès*, si faible que soit celle-ci par rapport à la *corrosion chimique intense* du calcaire, est constitué par un *résidu sableux inaltérable* et dont l'accumulation, dans les fentes étroites et difficiles à élargir du grès, forme peu à peu les éléments d'un excellent *dispositif de filtrage interne*, qui n'est pas sans valeur pratique dans certains cas. Dans les terrains de cette catégorie, les eaux, plus divisées, circulent moins vite et subissent donc, dans des fentes et cassures, *se maintenant relativement étroites*, un filtrage plus sérieux, plus efficace et plus prolongé d'ailleurs que dans les calcaires, dont les *gros troncs circulatoires* sont ici absents.

Pour en revenir au travail de M. Moulan, cet auteur montre que les décompositions pyriteuses et autres, dont il a été question plus haut, constituent un inconvénient assez général dans les eaux de la catégorie ici envisagée; mais, dans la pratique, il remédie à cet état de choses en *noyant complètement ses galeries drainantes et d'adduction*, afin d'y éviter absolument l'action néfaste des réactions chimiques de décomposition dues aux fluctuations du niveau de l'eau et aux influences de l'air venant en contact avec les pyrites. C'est pour arriver à un tel résultat que M. Moulan préconise, pour ces travaux en terrains quartzo-schisteux, l'adjonction, aux galeries drainantes à y établir, de *serrements relevant par paliers successifs* les eaux souterraines dans le vaste filtre naturel du massif drainé; cette disposition a encore l'avantage, en permettant de diminuer la pente générale des galeries, de ménager davantage les réserves aquifères accumulées dans les profondeurs des bancs gréseux fendillés traversés par les dites galeries.

Il semble donc que dans les terrains rocheux de l'espèce, ce dispositif des *serrements* soit réellement recommandable.

Toujours, quel que soit le point de vue abordé, nous revenons au même résultat, si contraire à la thèse d'unification à outrance de M. Verstraeten : C'est que le principe de la *différenciation* et de la *distinction* des cas, basé sur l'élément essentiel des *données géologiques*, constitue la base de toute l'hydrologie des terrains rocheux fissurés, calcaires ou non.

(1) *Note sur l'utilisation des eaux du Devonien quartzo-schisteux*, par M. C.-F. Moulan. (MÉM. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., 1901, t. XV, pp. 99-109.)

II. — Ce que vaut la base d'appréciation du chiffre de rendement des sources et des galeries drainantes à l'hectare-jour, dans le cas des terrains rocheux calcaires plissés et redressés.

En cherchant à combattre les vues qu'à plusieurs reprises, depuis 1890 (1), j'ai défendues (2) au sujet du rôle des extensions souterraines des bassins d'alimentation, dans les massifs rocheux calcaires plissés et redressés, M. Verstraeten a mis en avant toute une série de chiffres relatifs à ce qu'il appelle les moyennes du *rendement à l'hectare-jour*, chiffres qu'il présente comme ayant la même signification, la même valeur pour les massifs aquifères de ce genre que pour les terrains meubles ou autres, en disposition horizontale ou faiblement inclinée.

Se basant sur les chiffres les plus élevés fournis par le drainage en terrains homogènes sableux très aquifères, pour apprécier des débits de sources en terrains rocheux calcaires, M. Verstraeten a commencé par contester et par nier, comme invraisemblables et produits par des procédés de jaugeage défectueux, certains gros chiffres de rendement, naguère fournis lors de jaugeages de sources dans la vallée calcaire du Hoyoux. Après d'autres jaugeages, exécutés par des procédés différents, et cette fois d'une exactitude que M. Verstraeten qualifie lui-même de « rigoureuse », les résultats obtenus, quoiqu'en *période sèche*, par contraste avec les premiers, obtenus en *période humide*, furent encore si *déconcertants* par leur ampleur de débit que l'honorable ingénieur a été obligé de chercher le moyen de ne pas devoir s'appuyer sur eux. Ce moyen, il l'a trouvé en s'appliquant, grâce à une ingénieuse et docile série de coefficients de réduction et de diminution *probable* des chiffres OBTENUS, à déterminer ce que pourraient bien *devenir*, après une *période de sécheresse accentuée, très prolongée*, les chiffres élevés qu'il a été forcé de reconnaître exacts. Il détermine ainsi un *minimum absolu* à prévoir pour le rendement à l'hectare-jour des sources dont il s'obstine à ne pas admettre la continuité de débit considérable.

~ Nonobstant tous ces efforts et ces artifices, les belles sources du parc de Modave — car c'est d'elles qu'il s'agit — s'obstinent, elles aussi, à ne laisser prévoir à M. Verstraeten que des rendements de *minimum absolu* bien SUPÉRIEURS encore, comme débit à l'hectare-jour, à celui fourni par le drainage des réservoirs meubles sableux *les plus favorisés*.

Cet exposé, que je rappelle ici sommairement, a fourni, on s'en souvient, l'objet des considérations émises dans les pages 401 à 402 et spécialement 438 à 441 du présent travail.

Il y a là une anomalie qui étonne M. Verstraeten, et il en recherche

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 440.)

(2) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 402.)

vainement la cause (voir p. 439, § 4): Cette cause est cependant très simple, et depuis 1890 je m'efforce de l'indiquer à mon honorable contradicteur.

Si dans ses connaissances sur la structure et sur le dispositif de circulation souterraine à distance des massifs rocheux calcaires, M. Verstraeten ne parvient pas à trouver les éléments, si accessibles cependant, de la solution que je lui ai fournie du problème; s'il ne parvient pas à se rendre compte que cette solution est obtenue de la manière la plus simple par la *thèse* que je lui ai opposée depuis 1890, que je lui ai représentée en 1894 et que je lui réitère dans le présent travail, à de multiples reprises (1), sous le nom de *l'empiétement des bassins d'alimentation souterraine* par rapport aux limites des *bassins hydrographiques superficiels*, je crois qu'il vaut mieux me dispenser de nouvelles tentatives personnelles pour éclairer mon honorable contradicteur. Après l'avoir prié, simplement, de bien vouloir jeter un coup d'œil sur la figure synthétique n° 9 du présent travail (p. 503), qui expose graphiquement le cas des empiétements souterrains dans les calcaires (*Note additionnelle*, n° 5), je me bornerai à mettre sous les yeux de M. Verstraeten le passage suivant d'une lettre que vient récemment de m'adresser M. l'ingénieur-géologue H. Forir, Secrétaire général de la Société géologique de Belgique et répétiteur du *cours de géologie* donné à la Faculté technique de l'Université de Liège, par M. le professeur Max Lohest.

Il y verra ce que pensent de ces chiffres de prétendu rendement à l'hectare-jour, en terrains calcaires fissurés, les hommes de science ayant la redoutable responsabilité d'inculquer aux futurs ingénieurs des Mines la vérité scientifique et les principes d'*application rationnelle* de la géologie et de ses progrès.

« Dans les terrains horizontaux ou faiblement inclinés, on peut déterminer, pour ainsi dire mathématiquement, le bassin hydrographique d'une source. Dans les terrains redressés et plissés, cela est matériellement impossible. Telle est la thèse qu'enseigne comme classique M. Lohest dans son cours de géologie appliquée, depuis nombre d'années (à partir de la création du cours). C'est *une forme* un peu différente de présenter la chose, mais qui, *au fond*, est la même que la vôtre. Le bassin hydrographique étant indéterminé, il ne peut être question de rendement journalier à l'hectare. »

C'est la même manière de voir qui est exposée par M. le professeur Lohest lui-même dans les lignes suivantes, extraites du procès-verbal de la séance d'hydrologie du 17 février 1901 de la Société géologique de Belgique (2).

« M. Lohest croit également qu'il est presque impossible de déterminer l'étendue de la surface drainée et, par suite, le rendement à l'hectare, dans des alternances de

(1) Voir pp. 401 et 402 ainsi que pp. 440 et 441.

(2) *Ann. Soc. géologique de Belgique*, t. XXVIII, p. B. 227.

schistes et de grès redressés. En tout cas, les règles adoptées pour la connaissance de cette surface dans les terrains meubles, homogènes et horizontaux, ne peuvent être appliquées ici. »

Ma thèse, si vivement contestée par M. Verstraeten, au sujet du rôle et de l'influence de l'*empiétement des réservoirs et des communications souterraines*, sur le débit des sources en *massifs plissés et redressés* calcaires, reçoit ici, par l'appui précieux de l'enseignement officiel donné à la Faculté technique de l'Université de Liège, une consécration et même une extension d'application auxquelles ne s'attendait probablement pas M. Verstraeten, et je me borne à lui signaler le fait.

Bien d'autres vues, je crois même pouvoir dire la presque totalité de celles que je défends ici, d'accord avec les spécialistes compétents en matière d'hydrologie des calcaires, sont conformes aux données de l'enseignement classique du cours de géologie pratique de l'Université liégeoise, et afin de m'en assurer, j'ai prié M. Henri Forir, le savant et aimable répétiteur du cours professé par M. Max Lohest, de bien vouloir s'en assurer lui-même par l'examen des épreuves du présent travail : ce qu'il a fait avec son obligeance habituelle.

Au cours de cet examen, M. Forir a noté qu'à propos de la question, connexe à celle qui vient de nous occuper, des *procédés de jaugeage* des sources, je me suis abstenu de commenter les critiques faites par M. Verstraeten contre le système de jaugeage dit *par déversement*, qui, à Modave, a été employé lors des premiers jaugeages d'avant 1892, et dont les résultats étaient considérés par mon honorable contradicteur comme absolument exagérés et inadmissibles.

Je me suis borné, en effet (voir note 1 de la page 437), à signaler la protestation de M. V. Besme, inspecteur voyer qui, à la demande de la Commission intercommunale des Eaux, a opéré des jaugeages de vérification et qui a conclu que les critiques de M. Verstraeten avaient été *absolument exagérées*.

Ne prétendant à aucune compétence dans cette question technique des inconvénients et des avantages des deux systèmes de jaugeage en présence, j'avais préféré ne pas relever les appréciations de M. Verstraeten, d'après lesquelles le jaugeage par *déversement* n'a nullement la valeur et la précision des jaugeages par *empotement*.

Or, voici ce que m'écrit M. Forir, après l'examen de mon texte, pages 437 et 438 :

« A propos des jaugeages par empotement, vous eussiez pu dire que ces jaugeages donnent de bons résultats avec de faibles venues d'eau, mais que pour les sources ou les ruisseaux de fort débit, il est impossible, par ce procédé, d'obtenir des données quelque peu approchées et que, alors, tout le monde est unanime pour préférer les déversoirs qui, quoi qu'en dise M. Verstraeten, donnent des résultats très exacts quand ils sont bien établis et quand on sait s'en servir.

Conclure en unifiant systématiquement; ne jamais distinguer les divers cas; tels paraissent être les principaux et constants défauts du raisonnement et des thèses de M. Verstraeten.

C'est avec des idées aussi erronées sur la prétendue unification de caractères et de propriétés des réservoirs aquifères, tant en terrains sableux, meubles et homogènes qu'en massifs rocheux calcaires, plissés et redressés, que l'application à ces derniers d'une thèse aussi étrangère à leur régime aquifère, que le rôle alimentaire *exclusif* de leur *bassin hydrographique superficiel*, amène M. Verstraeten à de regrettables conclusions. La vérité est donc qu'il ne s'est aucunement rendu compte que les lois, toutes spéciales, régissant l'hydrologie de l'important groupe de terrains précités, les font échapper complètement au *contrôle* comme aux *conclusions* de la théorie hydrologique du *rendement à l'hectare-jour*, spéciale aux terrains meubles, et homogènes dans leurs strates aquifères.

On peut même concevoir que, pour ces derniers terrains, les ressources aquifères pourraient, dans certains cas spéciaux, être grossies d'apports ne provenant pas du bassin hydrographique superficiel. Tel est certainement le cas pour le produit du drainage opéré par des galeries s'alimentant dans des nappes *sous-jacentes à la nappe phréatique*, comme cela se présente pour les eaux alimentaires de Bruxelles.

Mais je ne pense pas qu'il y ait lieu de soulever ici le détail de cette question, appelée cependant à fournir d'intéressants commentaires.

La conclusion pratique à retenir de la précieuse confirmation fournie, par l'enseignement universitaire liégeois précité, à ma thèse de 1890, au sujet de l'*empiètement souterrain* des bassins d'alimentation des massifs calcaires de l'espèce, est que les ingénieurs-hydrologues et entrepreneurs de distributions d'eau commettraient une grave erreur en tentant d'interpréter, comme le fait M. Verstraeten, les constatations de débit fournies par le jaugeage des sources en massifs calcaires plissés et redressés, par les lois du *rendement à l'hectare-jour*.

Celles-ci ne paraissent guère pouvoir s'appliquer qu'aux eaux de la *nappe phréatique* des massifs géologiques, meubles ou autres, d'allures régulières, peu ou point dérangées, et à réservoirs ou à nappes aquifères (1) homogènes et d'imprégnation sédimentaire générale et d'*alimentation verticale immédiate*.

(1) Faisant allusion à l'expression de « couche aquifère » que M. Verstraeten voudrait voir employer en remplacement de celle de « nappe aquifère », qu'il a si vivement combattue, M. H. Forir me communique encore les réflexions suivantes, au sujet desquelles je suis entièrement d'accord avec lui.

« Les changements de nomenclature proposés par M. Verstraeten sont loin d'être » heureux. Ainsi pour remplacer « nappe aquifère » il préconise l'expression « couche » aquifère ». A mon sens, c'est fort différent. *La couche aquifère est le CONTENANT,* » indépendamment du contenu. Ainsi on peut dire que le sable et la craie constituent

NOTE ADDITIONNELLE N° 3.

QUELQUES OBSERVATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR L'HYDROLOGIE
DES CALCAIRES ROCHEUX

suggérées par les derniers exposés de M. l'ingénieur Th. Verstraeten.

1. — A propos des zones aquifères « passive, active et mobile » de M. Verstraeten (1898) dans le dispositif du régime hydrologique des roches calcaires.

Il semble qu'une certaine évolution ait récemment commencé à s'opérer, dans les idées de M. Verstraeten, au sujet du régime aquifère des calcaires.

Déjà dans son *Essai de terminologie hydrologique*, publié en 1898, parmi les documents et rapports préalables du *Congrès international d'Hydrologie médicale, de Climatologie et de Géologie* (session de Liège), on voit apparaître, dans l'exposé comme dans les figures fournies par notre honorable contradicteur (1), les premiers linéaments du dispositif donnant naissance à ce que M. Rutot et moi avons appelé le *régime circulatoire localisé*.

M. Verstraeten subdivise, dans ce travail, le réservoir aquifère en couche *passive*, en couche *active* et même en couche *mobile* !

Déjà, au cours du présent travail, j'ai eu l'occasion de faire allusion à ces dénominations nouvelles de M. Verstraeten, mais sans m'y arrêter pour les commenter, d'autant plus qu'elles s'expliquaient assez bien d'elles-mêmes.

En effet, ce que M. Verstraeten, à partir de 1898, baptise du nom de couche *passive*, n'est autre chose (voir p. 396, fig. 1) que la zone que nous

» des couches aquifères, alors même que, par suite de sécheresse, ils ne contiennent
» plus ou presque plus d'eau. *La nappe aquifère*, au contraire, est le contenu, indépen-
» damment du contenant.

» Tout le monde le comprend ainsi et l'on dira très bien la nappe de la couche de
» craie, les oscillations de la nappe, tandis qu'il ne viendra à l'esprit de personne de
» dire les oscillations de la couche aquifère. Du reste le mot *nappe*, employé même
» pour une nappe libre, peut signifier un volume aussi bien qu'une surface. »

(1) Voir pp. 78-115 des *Mémoires* du Congrès.

avons appelée, M. Rutot et moi, en 1895, zone du régime statique, inférieure ou sous-jacente au thalweg des vallées.

Sa couche liquide *active* n'est autre chose aussi que notre zone BB, dite du *trop-plein* de notre régime statique ou inférieur. Enfin, il y a une frappante équivalence entre la « couche liquide *mobile* » de notre honorable contradicteur et certains des dispositifs de notre régime *circulatoire localisé D*, qui provoque, de même que la « couche mobile », des déversements et des niveaux de sources généralement supérieurs aux venues aquifères des thalwegs fluviaux en vallées calcaires (1).

Lorsqu'on considère que cette différenciation des *trois éléments constitutifs* de l'appareil aquifère des formations calcaires considérées nous a valu, en 1897, à M. Rutot et à moi, d'être si malmenés par l'auteur qui, aujourd'hui, vient, en son nom, exprimer les mêmes vues *avec d'autres mots*, on ne peut méconnaître qu'il y a là, de la part de M. Verstraeten, une évolution bien indiquée. Cette évolution a cependant été retardée et même contrariée dans son essor par la thèse, qui l'hypnotise si fâcheusement encore, de l'unification des régimes aquifères, tant en terrains meubles qu'en terrains fissurés.

(1) Dans son *Essai de terminologie hydrologique*, tel qu'il a été publié et distribué à Liège, en 1898, parmi les *Rapports* préalables du Ve Congrès d'hydrologie médicale, on trouve, page 17 du tiré à part, l'exposé suivant :

« Sur la couche liquide *passive*, il s'est donc établi une deuxième couche, mais » *active*, de l'amont à l'aval; et, en même temps, par-dessus cette dernière, s'en est » constituée une troisième, également *mobile*, dont la nappe, dès qu'il y a déversement, incline en se bombant vers les réservoirs. »

A peine énoncée en 1898 à Liège, la notion de la couche supérieure *mobile*, distinguée sous ce nom de la couche *active*, disparaît déjà en 1899, à Gand. Il convient de faire remarquer à ce sujet que l'*Essai de terminologie hydrologique* de M. Verstraeten, *fortement remanié, corrigé et remis au point* par lui, a été RÉIMPRIMÉ avec, par conséquent, de nombreuses et profondes différences de texte dans la quatrième livraison du tome XXII des *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, en 1899. C'est cette dernière version que M. Verstraeten a également représentée, en 1899, à la Société belge de Géologie, pour être incorporée dans les *Traductions et Reproductions* du volume XIII (de 1899) de notre BULLETIN. La phrase ci-dessus du Congrès de Liège y est remplacée par la suivante, qui présente autrement la distinction d'une zone supérieure dite *mobile*. Il n'y a plus en présence, au-dessus d'une zone inférieure *passive*, que deux zones *actives* superposées mais restées distinctes : « Sur la couche liquide dite *passive*, il s'est donc établi une deuxième » couche dite *active*, et, en même temps, par-dessus cette dernière s'en est constituée » UNE TROISIÈME, également *active*, dont la nappe, dès qu'il y a déversement, incline en » se bombant vers les déversoirs. »

Les deux mots que je reproduis ici en petites capitales montrent que malgré la suppression de l'expression *couche mobile*, M. Verstraeten reconnaît l'existence de TROIS TERMES *superposés* et *distincts* dans l'appareil aquifère des dépôts considérés. Or c'est là ce qui caractérisait notre « conception hydrologique nouvelle » de 1895, à M. Rutot et moi.

Ne pouvant, après ses critiques de 1897, soulevées au sujet des divers éléments différentiels que nous avons indiqués, M. Rutot et moi, dans le régime aquifère de certaines dispositions de roches calcaires, décernement les adopter en 1898, M. Verstraeten, forcé d'en reconnaître l'existence, s'est donc tiré d'affaire en les débaptisant ; ce qui lui donne même l'air d'avoir *innové* !

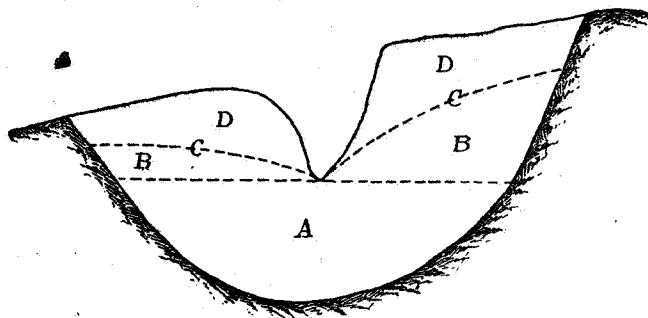


FIG. 8. — Rappel du dispositif présenté par le régime aquifère des eaux imprégnant un massif calcaire fissuré, recoupé par une vallée drainante.

A. Partie du bassin calcaire fissuré *ABCD*, sous-jacente au niveau du thalweg draineur central et contenant, dans ses fentes et crevasses, des réserves aquifères non drainables ni déversables sur le plan vertical représenté. Ces eaux ainsi emmagasinées et qui, à une certaine profondeur dans la zone *A*, peuvent s'y trouver à un état de repos absolu, constituent la zone inférieure du régime statique (Rutot et Van den Broeck, 1895) et aussi la zone de la *couche passive* de M. Verstraeten (1898).

BB. Partie supérieure de la nappe aquifère, drainée par le thalweg et par ses sources. Ces eaux, en mouvement d'écoulement centralisé vers le thalweg draineur, constituent la zone du *trop-plein* du régime inférieur statique (Rutot et Van den Broeck, 1895) et représentent la zone de la *couche active* de M. Verstraeten (1898).

CC. Alignement approximatif des surfaces, localisées et discontinues, du réservoir aquifère, constituant le niveau piézométrique général de la nappe *B*. C'est à cette surface que M. Verstraeten applique exclusivement la dénomination de *nappe aquifère*, appliquée par nous au réservoir *A BB*.

DD. Massif calcaire dont l'ensemble figuré est à sec, mais dont les canaux et cavités conduisent les eaux circulatoires localisées, soit permanentes (engouffrements d'eaux courantes de plateau), soit périodiques ou accidentelles (fontes, de neiges, ruissellements pluviaux et d'orages). C'est la zone du régime circulaire localisé de MM. Rutot et Van den Broeck (1895) et, dans une certaine mesure, la zone de la *couche active supérieure* ou *mobile* de M. Verstraeten (1898-1899). C'est aussi la zone qui, dans beaucoup de cas, constitue le lieu d'élection de la masse principale, et essentiellement circulaire, des réserves aquifères de certains massifs calcaires.

Nota. — Le tracé de cette coupe schématique, reproduit d'après M. Verstraeten, devrait, pour représenter avec plus de fidélité la réalité des choses, être **ÉTIRÉ FORTEMENT en longueur**, afin d'éviter la facile méprise qui consisterait à y voir la coupe transversale du bassin calcaire, ici représenté par une coupe *parallèle au grand axe du bassin*. Le substratum du massif calcaire *ABCD* est constitué, comme dans nos types de bassins condrusiens carbonifères, par une formation quartzo-schisteuse, et schisteuse en profondeur, s'opposant à la circulation et à l'infiltration souterraines des eaux du calcaire.

Je ne critique nullement ces dénominations de *zone passive*, de *zone active* inférieure et de *zone active supérieure* ou *mobile*, et je les adopterais même sans grande difficulté, vu leur caractère pratique et concis; mais je viens de constater qu'elles sont tout simplement la *réédition*, sous des appellations différentes, des éléments différentiels dont l'existence a été signalée, par M. Rutot et moi, en 1895. Je tiens à constater aussi que c'est cet exposé, très incident d'ailleurs, d'une thèse, qualifiée en 1897 par M. Verstraeten de « conception hydrologique nouvelle », qui nous a valu, à cette époque, la critique à laquelle répond le présent travail.

Dans l'étude assez détaillée qu'il a faite de la *zone passive*, soit de notre zone inférieure A ou du *régime statique*, sous-jacent au thalweg des vallées (voir fig. 8), M. Verstraeten insiste sur un point qui n'est pas dépourvu d'intérêt et sur lequel je me déclare absolument d'accord avec lui.

Lorsqu'on représente par une coupe transversale à la vallée, comme c'est le cas pour la figure 1 de la page 396, que je reproduis d'ailleurs plus haut (fig. 8) pour plus de facilité, le régime aquifère d'un bassin calcaire, enchâssé dans un substratum imperméable, il faut tenir compte des éléments de drainage fournis par la *région d'aval*, qui ne peuvent être représentés dans une telle figure.

Le réservoir inférieur A qui, pour la région de la *section* ici considérée, de même que pour toute la région d'amont, constitue une couche d'eau *passive*, c'est-à-dire n'y pouvant trouver d'écoulement, ne se présente plus dans les mêmes conditions vis-à-vis des *régions d'aval*. Relativement à celles-ci, les tranches supérieures de la zone de notre régime statique A (zone passive de M. Verstraeten) peuvent être considérées comme se rattachant à la zone du *trop-plein* B (zone active inférieure de M. Verstraeten). L'épaisseur de cet ensemble de tranches supérieures de A, influencées par la région d'aval et ses déversements, et qui, pour cette dernière région, devrait être englobé dans la zone du *trop-plein* B, est déterminée par l'altitude en contre-bas des points drainants les plus inférieurs de la vallée considérée. Tantôt ce sera la limite, en aval, du calcaire fissuré dans son contact sur le schiste imperméable sous-jacent qui déterminera ce point; tantôt ce sera le point le plus bas atteint en aval par ce même calcaire fissuré.

Reprenant et complétant, cette fois absolument d'après nos vues à M. Rutot et à moi, le diagramme représentant, dans le cas de disposition calcaire considéré, le régime aquifère formulé par notre « conception hydrologique nouvelle » de 1895, nous obtiendrons le diagramme de la page ci-contre, qui tient compte des circonstances qui viennent d'être indiquées.

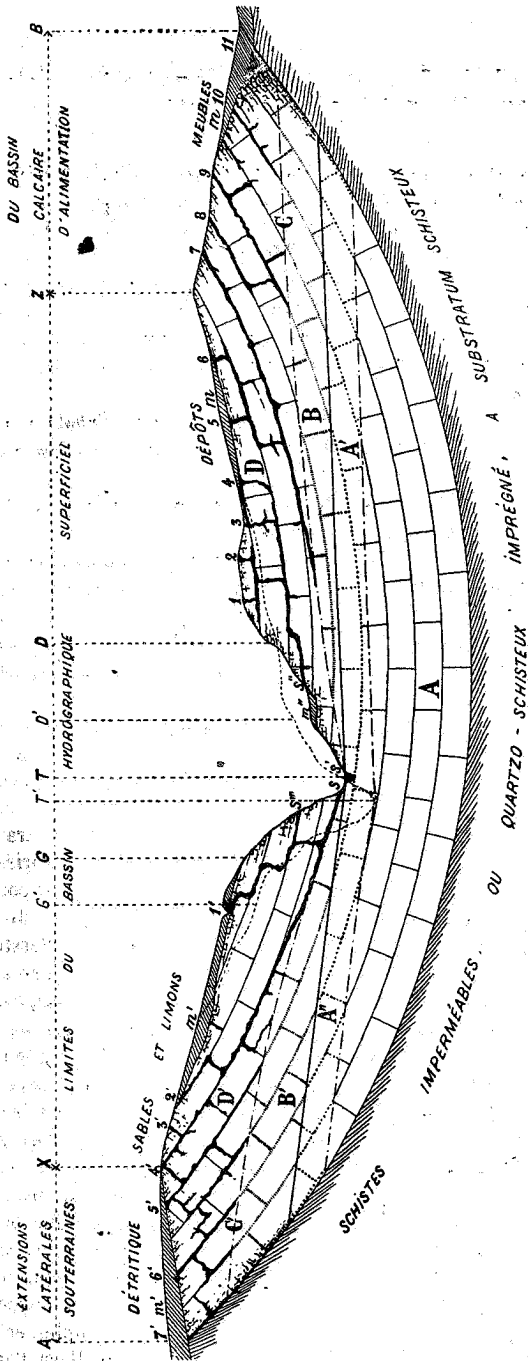


FIG. 9. — Coupe schématique longitudinale montrant le régime aquifère complexe d'un bassin rocheux calcaire, disposé en pli synclinal, du type condrusien dit « en fond de bateau » et coupé transversalement par une vallée drainante.

Nota. — L'échelle des hauteurs est, par rapport aux longueurs, fortement exagérée, de même que les dimensions relatives de la vallée dans l'ensemble de la bande longitudinale calcaire.

**Légende détaillée de la figure 9 et Notice explicative consacrée
aux divers éléments représentés.**

La figure ci-contre représente une section *longitudinale*, tracée parallèlement au grand axé, d'un bassin calcaire rocheux, disposé en cuvette allongée ou en « fond de bateau » et reposant sur un substratum schisteux ou autre, s'opposant à la libre circulation souterraine des eaux sous le massif calcaire.

Une vallée, dont le flanc droit est en *D*, le flanc gauche en *G* et dont le thalweg, *T*, est occupé par une rivière et par des émergences latérales de sources (*s* et *s'*), traverse le massif calcaire dans une direction *perpendiculaire* ou oblique au grand axé du bassin rocheux fissuré (il s'agit ici des lettres *DGT* qui se trouvent sur la ligne pointillée du haut de la figure).

Une autre section, située plus en arrière et prise dans la région *d'aval* de la même vallée, est fournie par le tracé de la ligne pointillée qui se projette derrière la section d'avant-plan, au centre de la figure.

On y retrouve en *D'*, en *G'* et en *T'* respectivement les flancs droit et gauche ainsi que le thalweg, plus rabaisé, de cette section d'aval.

Le massif calcaire est constitué par une succession de bancs, représentés ici, pour plus de simplicité graphique, *uniformes* dans leur épaisseur et *réguliers* dans leur disposition, bien qu'il n'en soit nullement toujours ainsi. Quant à la roche calcaire, elle se trouve ici subdivisée par une *minime* quantité de joints et de lithoclasses, dont le nombre est en réalité *beaucoup plus grand* que ce qui se trouve représenté sur la figure, qui vise surtout à la simplicité synthétique.

Les fissures ainsi formées, lorsqu'elles ne sont pas resoudées ou colmatées et remplies de résidus limono-argileux ou autres, constituent, par anastomose, un réseau à mailles diversement communicantes, assez souvent même largement ouvertes, avec cavités, parfois même élargies en grottes; celles-ci sont alors généralement alignées sur les lignes principales, ou diaclases, de grandes fissures tectoniques traversant très généralement le massif calcaire au travers d'épaisses séries de bancs variés.

C'est encore là un élément adventif *non figuré ici*, mais qu'il est facile de concevoir en adaptant à la figure 9 le tracé irrégulier des grandes fissures, ou diaclases, marquées *D* dans les figures 11 et 12 (pp. 512 et 518), reproduites d'après M. Verstraeten.

L'ensemble complexe et éminemment variable, suivant les cas considérés, de ce réseau de fentes, de cassures, de joints, de diaclases, de cavités et de grottes, constitue *l'espace discontinu mais communicant* dans lequel se trouve, soit amassée au repos, soit en état circulatoire, général ou localisé, l'eau d'infiltration qui constitue la réserve aquifère du calcaire. Une partie de ce réseau, généralement à sec, peut, dans certaines conditions et sous diverses influences, s'adjoindre comme siège d'extension de la zone circulatoire des eaux. C'est celle, notamment, qui, dans la figure 9, est représentée sous forme d'épaississements irréguliers et fortement encrés, du réseau des joints et lithoclasses de la zone supérieure *DD'*. Ces parties foncées représentent les *canaux* constitués par des fissures et par des joints suffisamment ouverts pour que les eaux puissent y circuler. Il convient de ne pas perdre de vue que ce même dispositif de canaux, de moins en moins développé comme dimensions, de plus en plus localisé et restreint comme nombre, existe aussi dans les zones aquifères ou noyées *BB'*, *A'A''* et *A*. S'il n'a *pas été figuré* au sein de celles-ci, c'est pour ne pas compliquer et surcharger le dessin, dont l'échelle ne permet pas de rendre de tels détails. Il est d'ailleurs

à remarquer que le nombre, la proportion et les dimensions de ces canaux aquifères, dans les zones BB', A'A'' et A sont essentiellement variables suivant le degré de fissuration, suivant la structure et la nature chimique des diverses zones ou parties du massif calcaire et, enfin, suivant l'influence locale, *très variable*, des phénomènes tectoniques qui l'ont plissé, plus ou moins fracturé et disloqué. Dans certains massifs calcaires rocheux, peu dérangés et d'allures régulières, on peut même admettre qu'en A le nombre des joints et des diaclases permettant l'introduction des eaux peut être parfois si minime que, pratiquement, on peut alors considérer cette zone inférieure A comme *absolument dépourvue de ressources aquifères*. Ce qui est incontestable assurément, c'est que le réseau aquifère de fissures, de joints, de canaux et de cavités est en général d'autant plus développé qu'on s'élève davantage, dans le massif calcaire, vers sa surface d'affleurement.

La figure 9 montre, plus nettement encore que ne l'ont représenté les figures précédentes, comment s'établit la répartition, en *trois éléments principaux*, des diverses manières d'être de l'eau au sein des massifs calcaires.

Le *premier de ces éléments* est représenté en A A'A' dans les profondeurs, où s'établit — quand la fissuration de la roche le permet — la réserve aquifère que M. Rutot et moi nous avons appelée, en 1895, la zone inférieure du *régime statique*, sous-jacente au thalweg (T) de la vallée. Par rapport à la région de la coupe figurée et par rapport à ce thalweg, la masse des eaux de cette zone inférieure A A'A' ne peut subir aucun phénomène naturel de drainage ni de tendance à l'écoulement. Aussi est-ce là ce que M. Verstraeten a appelé sa *couche liquide passive*. D'accord en cela avec notre honorable contradicteur, nous devons cependant reconnaître la distinction nécessaire, dans cette zone passive, d'une *tranche supérieure* A' A'', influencée par rapport au point inférieur T' de drainage de la région d'aval, point dont l'altitude détermine l'épaisseur de la tranche A' A''. Celle-ci, absolument passive par rapport à la coupe figurée, dont le thalweg est T, deviendra active et sujette à déversement par rapport à la coupe d'arrière-plan et d'aval D' T' G'. C'est ce que M. Verstraeten, avant nous, a fait nettement observer.

J'ai toutefois cru plus correct, et plus conforme à la réalité des faits et aussi des lois hydrodynamiques, de délimiter les surfaces séparatives des zones A A'A' et B B', non par des tracés horizontaux rectilignes et tangents aux thalwegs draineurs T et T', comme le figure M. Verstraeten, mais par des lignes brisées et obliquement convergentes, vers ces points bas de soutènement. En un mot, je les ai supposées sous l'influence, *amoindrie toutefois*, des lois hydrodynamiques ayant donné lieu plus haut, en C, à l'allure caractéristique et bien connue de la surface supérieure des nappes phréatiques.

Le *deuxième élément* primordial du régime aquifère considéré est fourni par la zone B B'. C'est celle du *trop-plein* de notre zone statique inférieure (A A'A'') de 1895 : c'est la *couche liquide active* de M. Verstraeten (1898). L'allure de cette zone et la forme plus ou moins parabolique de son niveau de surface C se trouvent tout naturellement expliquées par le déversement dans le fond de la vallée qu'y opèrent les sources *s s'*. Parfois ces sources latérales visibles sont remplacées par des sources cachées alimentant la rivière directement par dessous, comme les vallées du Bocq et du Hoyoux en fournissent, par places, des exemples.

La surface C C' de la zone active B B', surface qui n'a d'ailleurs aucune *continuité réelle* et qui n'est qu'une *surface synthétique d'équilibre* de niveaux partiels et localisés entre les assises disjointes du calcaire, peut subir quantité d'influences locales, même temporaires, faisant varier par places le niveau de cette surface C C'. Il suffit d'invoquer, par exemple, les effets d'un violent orage, accompagné de pluies dilu-

viennes et de ruissellements intenses. Supposons-le sévissant seulement dans la région du plateau dénudé *de droite*, ayant la région de la crête de partage Z pour centre. Les fissures et les bétaires de ce plateau calcaire vont immédiatement fonctionner, *indifféremment dans LES DEUX BASSINS SUPERFICIELS D Z et Z B*, mais le tout au bénéfice alimentaire du *seul* massif considéré et de ses seules sources *s'* et autres, de la région droite d'aval.

La chute pluviale du bassin Z B, y compris celle de son versant schisteux de droite, non représenté dans la figure, à la droite de B, ne pourra avoir d'autre exutoire souterrain que ce même groupe de sources, appartenant au bassin hydrographique superficiel D Z, et tel est le mécanisme simple, précis et indiscutable, servant de basé à la thèse si justifiée de l'empiétement des zones d'alimentation souterraine des calcaires.

Rien n'est plus aisé, grâce à la figure 9, que d'analyser le phénomène dans ses détails.

Par les fissures ou orifices 1, 2, 3 et 4 vont s'engouffrer, dans les trois premiers, s'infiltrer plus lentement dans le dernier (recouvert par *m*) les eaux de ruissellement qui, sous forme probablement d'eaux troubles, suralimentent rapidement la source supérieure *s''* de la terrasse *m*, tandis que les orifices 5, 6, 7 d'une part, 8, 9, 10 de l'autre, fourniront, par leur apport temporaire et moins rapide, en deux régions distinctes de la surface aquifère C, des afflux d'eaux et des relèvements locaux, causés par la localisation des débouchés et des voies d'envahissement pouvant ainsi alimenter, en certains points seulement, la nappe aquifère B.

Dans le cas considéré, les eaux de ruissellement, atteignant, au sein du massif rocheux, la surface C de la nappe active B, vont se mélanger avec elle dans une certaine mesure, prendre part à un phénomène de transport assez prolongé, se filtrer plus ou moins et, si ces eaux du plateau ne sont point chargées de principes nocifs ou délétères, elles peuvent subir un certain degré d'élaboration et arriver aux sources inférieures dans un état plus ou moins compatible avec les usages alimentaires.

La source inférieure *s'*, après un certain temps verra son débit augmenter sous l'influence de la surcharge amenée par l'afflux temporaire transmis au réservoir B par les canaux débouchant de 5 à 10 et aussi du dispositif spécial marqué 11. Vu la distance, il se peut que ce gonflement de la source *s'* ne soit accompagné d'aucun trouble, les eaux de ruissellement ayant pu se trouver suffisamment filtrées ou suffisamment diluées dans la masse de la nappe B.

La source supérieure *s''* fournira des eaux certainement plus troubles et plus variables en qualité et en quantité que la source *s'* et devra absolument être rejetée pour les usages alimentaires. Quant à la source inférieure *s'*, peut-être admissible ou acceptable en temps normal, elle risque toujours d'être contaminée, si par exemple l'orifice ou le bétaire 7, 8 ou 9, non protégé, vient quelque jour à laisser infiltrer au sein du massif calcaire des eaux polluées ou chargées de principes nocifs de nature à provoquer de fâcheuses proliférations dans le réseau aquifère souterrain B.

Pendant ce temps, la surface C' de la zone aquifère active B', sous le plateau gauche, non influencé par cet orage local, n'aura subi aucune fluctuation, et le suintement supérieur *s'''*, pas plus que la source inférieure *s*, n'auront subi aucun apport supplémentaire à leur débit normal.

Le troisième élément du régime aquifère considéré est fourni par la zone DD' ou du régime circulatoire localisé, tel que M. Rutot et moi l'avons défini en 1895. C'est, jusqu'à un certain point, la couche liquide mobile de M. Verstraeten (1898) ou sa couche active supérieure (1899).

Cet élément est figuré sous forme de l'ensemble des canaux de circulation aquifère, généralement temporaire, qui, dans la figure 9, se trouve représenté en teinte noire

accentuée, sous forme d'élargissements localisés des joints et des cassures contournant irrégulièrement les blocs dont l'assemblage constitue le massif calcaire.

Ce n'est point le lieu de tirer ici de cette figure 9, dressée en vue d'un exposé plus complet, — qui sera fourni ailleurs, — tous les développements que comporte son examen détaillé. Cependant, il convient de signaler le rôle, tant de protection d'une part, que d'insécurité d'autre part, au point de vue de la filtration des eaux, qu'il faut attribuer au développement, à la présence ou à l'absence des *dépôts meubles*, soit détritiques, soit de sable et de limon qui, localement, et avec des épaisseurs diverses (en m et en m') ou avec certaines solutions de discontinuité (en l , rive gauche) recouvrent et protègent la surface éminemment absorbante du calcaire.

Dans le cas représenté par la figure 9, il est assez facile de voir, à la simple inspection de la figure qu'une *étude géologique* du massif calcaire et des dépôts meubles et filtrants qui le recouvrent permettrait bien vite de désigner le massif de gauche **CA** de préférence à celui de droite **DB**, soit pour le captage des sources inférieures s ou s' , soit pour l'établissement d'une galerie filtrante, dirigée alors suivant la direction sB plutôt que de s en B . L'épaisseur, comme le développement horizontal des dépôts meubles m du plateau de gauche favoriseront, en effet, la filtration *préalable* des eaux superficielles du plateau, tout autrement que le très mince et très localisé dépôt m du plateau de droite. Quant aux mesures de protection à faire décréter, elles peuvent se borner, du moins dans la région de la coupe, à obtenir l'obturation bien assurée du dangereux aiguigeois découvert, marqué $1'$, et à prendre des mesures pour éviter toute contamination éventuelle et ultérieure aux orifices $2'$ $3'$ et $4'$, également non recouverts du manteau protecteur et filtrant m' .

Il est facile de s'assurer que ces conditions relativement favorables ne se représentent nullement sur le plateau de droite, et il est plus facile encore de constater, par l'examen de cette figure, que le choix de la solution à intervenir et des études de protection à entreprendre sont du domaine *strictement géologique*.

J'ai tenu à représenter aussi, dans la figure schématique ici fournie, un cas très fréquent dans nos calcaires primaires du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse. C'est ainsi que la figure 9 montre (à gauche, sous A et en $7'$) que si sous des plateaux calcaires régulièrement inclinés et protégés par d'épais sédiments, pouvant être argileux et imperméables, il existe parfois, à la limite des calcaires et des schistes, des zones de contact où le calcaire est peu attaqué, faiblement corrodé ou dissous, il peut s'en trouver aussi où les conditions topographiques, telles que : dépression du terrain, absence d'éléments *argileux protecteurs* etc., ont amené, sous les dépôts meubles recouvrants, tant des époques anciennes d'émersion que des époques quaternaire ou moderne, des *biseaux accentués d'attaque* et de *dissolution du calcaire*. C'est de cette manière que, dans les régions à bandes calcaires devoniennes et carbonifères de la haute Belgique, se sont conservés jusqu'à nos jours *les terrains meubles* graduellement effondrés dans ces zones de contact attaquées et où s'est opérée une dissolution souterraine du calcaire ; c'est-à-dire les amas et les poches de sables et d'argiles tertiaires, accompagnées parfois d'amas de minerais, résidus de la dissolution du calcaire. C'est ce que j'ai cherché à figurer en 11 , à l'extrémité de droite de la figure 9. Ces zones corrodées et très *véhiculatoires* des eaux d'infiltrations superficielles — aisément amenées dans les profondeurs, grâce à ces poches sableuses et meubles, ayant ainsi remplacé le calcaire dissous — sont **TRÈS FRÉQUENTES** le long des bords *latéraux* ou *transversaux* de nos bassins calcaires primaires du type de celui ici représenté toutefois dans le sens de sa longueur. Les dispositions de ces poches souterraines ou parfois affleurantes de sables, d'argiles et de minerais, sont une des caractéristiques du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, déterminant nettement, en coïncidence avec

des alignements de dépressions et avec des caractères orologiques spéciaux, les allures des *lignes de contact* du calcaire et des schistes (1).

Ces accidents jouent un rôle important dans l'alimentation des eaux souterraines du calcaire, et c'est pourquoi ils devaient être signalés ici et faire partie des éléments constitutifs de la figure schématique n° 9.

Avant de finir cette note explicative, déjà longue cependant, de la figure 9, il convient de faire remarquer avec quelle incontestable évidence cette figure rend compte du phénomène, si fréquent, de l'*empiétement* de la région d'alimentation souterraine des sources d'une vallée considérée par rapport aux limites du *bassin hydrographique superficiel*.

Si après ces données graphiques, si simples qu'elles n'exigent aucun commentaire après ce qui a été dit déjà de cette question, M. Verstraeten persiste à ne pas reconnaître le bien fondé de cette thèse, il faudrait renoncer à admettre que la discussion scientifique puisse servir à quelque chose!

Au risque de faire plus ou moins double emploi avec certaines parties de la légende détaillée qui précède de la figure 9, je pourrais difficilement me dispenser d'apprécier rapidement les principaux éléments constitutifs du dispositif aquifère que j'ai cherché à représenter dans cette figure schématique.

Comme dans la figure précédente, qui n'est elle qu'un simple croquis, nous avons ici en A, dans la figure 9, la zone inférieure de notre *régime statique*, qui n'est autre chose que la « couche aquifère du calcaire » de M. Verstraeten, en 1897, et qui correspond à sa *couche liquide passive* de 1898. En BB', nous avons les eaux en mouvement et alimentant les sources du thalweg, surtout en aval de la section, qui constituaient notre *trop plein* B de 1895, et que M. Verstraeten baptise, à partir de 1898, du nom de *couche liquide active* inférieure. En CC' se trouve la ligne piézométrique discontinue reliant les surfaces partielles du niveau supérieur et sujet à oscillations, délimitant le *trop-plein* BB'. C'est la *nappe aquifère* proprement dite de M. Verstraeten, ainsi comprise par lui, et par lui à peu près seul, dans ce sens spécial et restreint.

En DD' on voit, cette fois représenté conformément à notre exposé de 1895, le réseau de canaux, cassures, joints et cavités, la plupart vides, d'autres aquifères, qui constituent le dispositif irrégulier — et variable suivant le degré de corrosion interne de la roche calcaire — que nous avons, en 1895, synthétisé sous le nom de zone du *régime circulatoire localisé*. C'est, dans une certaine mesure, la couche active supérieure ou *mobile* de M. Verstraeten (à Liège, en 1898). Comme le montre la figure 9,

(1) E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT, *De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne et du rôle géologique des sables d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la haute Belgique*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. III, 1888; Procès-verbaux des séances, pp. 9-25. Séance du 25 janvier 1888.)

les canaux de ce régime circulatoire localisé alimentent, les uns (1), le trop-plein BB' ou réservoir interne en mouvement du calcaire, et les autres (2) assez spécialement les sources s''s'' — quand il y en a — des niveaux de déversement supérieurs au thalweg et coïncidant parfois avec des alignements de terrasses (m'') disposées sur les flancs de la vallée.

Quant à la tranche supérieure A A' de la nappe inférieure A, *stagnante* ou *passive*, elle représente la portion de cette nappe qui, passive pour la section représentée, devient cependant active pour la région de drainage d'*aval*. Il est bien entendu que le réservoir A ne peut exister — sous forme de nappe passive — que pour autant que, dans sa profondeur, le massif calcaire soit suffisamment fissuré et disjoint pour permettre à l'élément liquide de s'y loger interstitiellement. Aussi n'est-on nullement en droit d'évoquer, en règle générale, l'existence du réservoir A sous forme d'une masse aquifère assez développée entre les parties compactes du roc calcaire. Le réservoir inférieur passif de cette nappe aquifère peut ne consister qu'en quelques rares fissures accidentelles, remplies d'une eau à l'état de repos. Quels que soient toutefois le volume ou le degré de généralisation ou de localisation des eaux passives interstitielles de la zone inférieure A, celles-ci peuvent être considérées comme renouvelables et d'alimentation continue par voie de drainage artificiel ou de puits y accédant. Naturellement, le fait de l'intervention humaine leur fera perdre alors leur qualité d'eaux « passives ».

Si maintenant nous nous reportons à ce que dit M. Verstraeten dans son *Essai de terminologie hydrologique* de 1898 (reproduit à peu près sans aucune modification dans cette partie de son texte réédité à Gand en 1899), nous voyons qu'il examine, à un point de vue qui n'est pas à négliger, soit à celui des conséquences spéléologiques, le rôle de cette subdivision d'une zone supérieure A A'' à distinguer dans la zone passive A.

Voici la figure qu'il fournit à ce sujet, et il suffit d'y jeter un coup d'œil pour se rendre compte — par l'action combinée, qu'il faut invoquer en la matière, des actions chimiques et mécaniques — du processus de formation des cavernes O et O' dans les zones A et B de la figure reproduite à la page suivante.

Mais, dans la zone C *en mouvement* et devenant ainsi *active* par rapport aux régions d'*aval*, zone qui ici dans la figure 10 constitue la partie supérieure de la zone passive D, M. Verstraeten trouve, par suite des actions chimiques et mécaniques résultant dudit mouvement, les causes de la création des cavernes situées, telles que O', *au-dessous du niveau du thalweg de la vallée*. Cela pourrait être justifié dans certains cas. Toutefois,

(1) Ce sont ceux dont les orifices sont, dans le schéma de la figure 9, numérotés de 5 à 10 à la surface du plateau de droite et 2' à 7' à la surface du plateau de gauche.

(2) Ce sont ceux respectivement numérotés, dans la même figure, 1 à 4 et 1'.

je crois que de telles cavités ou cavernes, surtout quand elles ne se présentent pas comme de simples canaux d'écoulement souterrain, mais sous forme de chambres ou élargissements notables formant de véritables grottes ou cavernes localisées, sous-jacentes aux thalwegs fluviaux, peuvent avoir plus généralement une autre origine.

Pour s'en rendre compte, il faut faire appel à certains phénomènes d'ordre essentiellement tectonique. Il faut se souvenir aussi que les modelés hydrographique et orographique des temps modernes et actuels diffèrent parfois considérablement, par suite du jeu des mouvements et des oscillations séculaires du sol, de ce qu'ils étaient dans les diverses phases de la dernière émergence quaternaire ou préquaternaire. Ces mouvements du sol, qui se traduisent par un jeu basculatoire de relèvements et d'abaissements de l'écorce terrestre, ont donc, dans bien des régions, dû produire de longs et séculaires affaissements de régions à massifs rocheux et fissurés, qui ont ainsi pu occuper naguère, *bien au-dessus des bas niveaux*

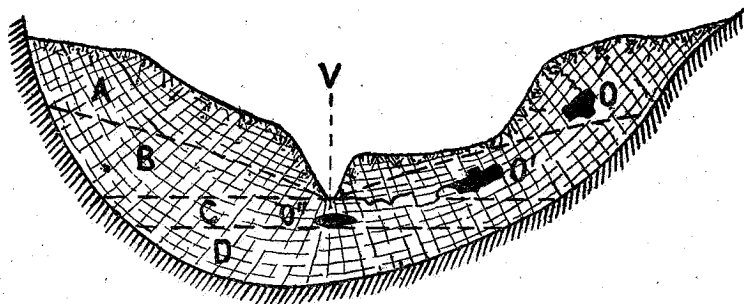


FIG. 10. — Diagramme montrant, d'après M. Verstraeten, les diverses situations des grottes et des cavernes par rapport au régime aquifère d'un bassin calcaire.

A. Zone du régime circulaire localisé, montrant la fissuration des régions d'affleurement et l'existence de cavités O ou grottes, produites surtout par l'action corrosive des eaux courantes localisées. Des réserves d'eau peuvent exister localisées dans ces cavités. Certains de ces réservoirs peuvent enfin s'amorcer par *siphonnement rocheux* après relèvement du réservoir B et s'y écouler en vidant alors ces cavités aquifères.

B. Zone de *trop-plein* (couche active de M. Verstraeten) du réservoir CD sous-jacent pouvant contenir des cavités et des grottes O' noyées dans la réserve aquifère et s'aggrandissant lentement sous l'action corrosive de ces eaux courantes d'imprégnation générale.

C. Partie supérieure de D, soumise à l'action drainante des sources et des suintements d'aval et dont les cavités ou grottes O'' seraient creusées, d'après M. Verstraeten, par le fait de la mise en mouvement et des actions chimiques corrélatives de la tranche aquifère C.

D. Zone du régime inférieur statique (zone passive de M. Verstraeten) dont les eaux échappent à toute influence naturelle drainante et véhiculatoire.

V. Vallée drainante, avec ses sources de thalweg et de niveau inférieur, drainant le réservoir B.

d'aujourd'hui, des positions ayant permis (comme en O sur la fig. 10) la formation des grottes datant de ces temps anciens, ramenées ensuite, avec le massif rocheux qui les contient, à des niveaux inférieurs, grottes simplement *utilisées* aujourd'hui, par suite de cet abaissement de niveau, par les eaux courantes de déversement souterrain C. Celles-ci, bien entendu, peuvent continuer à les corroder et à les élargir, comme l'indique M. Verstraeten. Cette hypothèse, que j'émetts ici parallèlement à celle de M. Verstraeten, ne l'exclut nullement; elle la complète probablement, ou la remplace même dans beaucoup de cas; mais l'une comme l'autre semblent pouvoir se trouver confirmées par l'observation précise des faits. Il y a là un intéressant sujet d'étude à approfondir et à reprendre ultérieurement

II. — Notes complémentaires sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai.

Tout récemment, à la séance du 29 avril 1900 de la *Société géologique de Belgique*, à Liège, M. Verstraeten, prenant part à l'intéressante discussion ouverte au sein de cette Société sur la question des eaux alimentaires, a traité de l'art de tirer parti des ressources naturelles en eau. Dans sa note, intitulée : *Filtration naturelle au point de vue de l'ingénieur*, M. Verstraeten a, cette fois, évité de parler en géologue, mais il n'a naturellement pu éviter de parler de géologie.

Au cours de généralités et d'un aperçu préliminaire plutôt classique sur le drainage en terrain plat et en terrain ondulé, l'auteur applique aux couches aquifères des terrains meubles ses nouvelles expressions, qu'il explique en caractérisant, sous les noms de parties *passives* et de parties *actives*, les divers éléments constitutifs du réservoir liquide.

Après avoir traité avec une indiscutable compétence des questions relatives au captage des sources en *terrain meuble*, l'auteur effleure à peine le sujet, si important cependant, et qui naguère lui tenait tant à cœur, de l'*hydrologie des terrains rocheux*.

Quoi qu'il en soit, pour parler des calcaires et de leur hydrologie, M. Verstraeten s'est cantonné, à la séance de Liège, dans l'examen des seuls bassins carbonifères observables au centre du bassin de Dinant; ensuite il s'est occupé du cas, peu compliqué, des calcaires horizontaux de Tournai.

Quant aux calcaires devoniens, au sujet de l'hydrologie desquels M. Verstraeten avait, pour la région de Han-Rochefort notamment, soulevé de si vives critiques, il n'en est nullement question dans ce dernier exposé de notre honorable contradicteur.

Serait-ce là une nouvelle confirmation d'un vers célèbre qui nous

apprend que si « la critique est aisée, l'art est difficile » ? Quoi qu'il en soit, examinons d'abord ce que dit M. Verstraeten de l'hydrologie des calcaires de la région de Tournai.

Mais ici une surprise attend le lecteur au courant des écrits antérieurs de M. Verstraeten sur la matière, même de ceux datant d'il y a trois ans seulement.

Les détails et le schéma fournis par l'auteur forment une opposition curieuse avec ses écrits antérieurs.

La figure nouvelle de M. Verstraeten, que je reproduis ici fidèlement (voir fig. 11), montre des assises très massives et bien régulières de bancs calcaires, nullement noyés cette fois dans la prétendue nappe

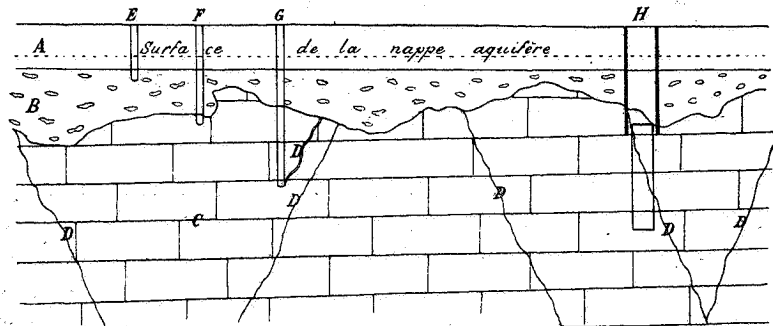


FIG. 11. — Le régime aquifère des calcaires de Tournai, d'après le dernier exposé de M. Th. Verstraeten (1900).

LÉGENDE DE LA FIGURE, D'APRÈS M. VERSTRAETEN.

- A. Terrain superficiel, sableux ou argilo-sableux.
- B. Formation détritique naturelle.
- C. Calcaire carbonifère.
- D. Fentes naturelles du calcaire.
- E, F, G. Puits ordinaires, plus ou moins profonds.
- H. Puits tubé, recommandable.

aquifère d'imprégnation générale (1) que nous montrait la figure de 1897 de M. Verstraeten (voir p. 410 du présent travail), et cet imposant massif, homogène et régulier, est à peine traversé obliquement par de *très rares et très étroites* « fentes naturelles du calcaire », que rencontrent certains des puits figurés cherchant à trouver dans le calcaire leur base d'alimentation.

(1) C'est de cette nappe générale, DONT IL N'EST PLUS QUESTION MAINTENANT, que M. Verstraeten disait, en 1897 : « Notre collègue (M. Rutot) admet un *si* : l'hypothèse de » *niveaux plus ou moins continus dans les calcaires horizontaux de Tournai*. Mais il ne » s'agit pas là d'hypothèse, il s'agit d'un fait : l'existence d'une *couche aquifère générale* » dans cette roche, constatée, relevée, avec sa nappe déterminée de position. »

L'examen de cette figure, sa comparaison avec le diagramme d'ensemble antérieur de M. Verstraeten (voir fig. 3, p. 410) et l'explication ici donnée pour le terme stratigraphique B, nous font reconnaître, d'accord avec le texte qui commente la nouvelle figure de M. Verstraeten, qu'il a voulu représenter ici tout spécialement la région d'alluvions voisine du thalweg de la vallée de l'Escaut, à Tournai.

Comme texte accompagnant cette figure, le procès-verbal de cette séance du 29 avril 1900, à Liège, fournit uniquement les paragraphes qui suivent plus bas. Après l'analyse que j'ai faite, pages 417 à 423, de la brochure de 1888 de M. Verstraeten, intitulée : *La question des eaux de Tournai*, et après l'étude critique que j'ai faite, pages 410-413, des vues émises en 1897 par M. Verstraeten au sujet du régime aquifère des calcaires de Tournai, ce nouveau texte, que voici, est particulièrement intéressant.

« *Formations rocheuses horizontales.* On peut prendre, comme exemple » de formations rocheuses horizontales, les calcaires des environs de » Tournai.

» D'une façon générale, on peut dire que les puits peu profonds, » creusés dans les terrains de l'espèce, donnent des eaux dangereuses ou » tout au moins suspectes; au fur et à mesure qu'ils s'approfondissent, la » qualité de l'eau s'améliore, s'ils sont bien construits; cependant, il peut » arriver, et il arrive fréquemment, qu'une fissure mette le puits en » relation directe avec les couches superficielles (1); dans ce cas, le puits » est irrémédiablement contaminé.

» Il existe un moyen très simple de mettre ces puits à l'abri des filtra- » tions superficielles; il consiste à en rendre parfaitement étanche la » partie supérieure maçonnée, puis à enfoncer, au fond du puits ainsi » construit, un tubage métallique, ouvert seulement aux deux extrémités » et réuni à la maçonnerie par du béton (fig. 11, en H). »

Le dispositif préconisé par M. l'ingénieur Verstraeten serait excellent..., si l'on était certain que, dans la région considérée, l'extrémité inférieure du tubage métallique à enfoncer dans le massif calcaire rencontrât en profondeur la fissure aquifère cherchée, et si l'on était certain aussi d'y trouver de l'eau ne dérivant pas trop directement de la zone superficielle B, dont l'influence, avoue M. Verstraeten, « contamine irrémédiablement le puits ».

Or, si quelqu'un en Belgique est à même d'apprécier sainement et pratiquement le régime aquifère des calcaires de Tournai, c'est bien notre collègue M. Duraffour, l'habile et consciencieux foreur de puits de cette région, qui a creusé la majeure partie des puits profonds existant à Tournai et aux environs.

(1) C'est le cas que représente, dans la figure 11, le puits G de la coupe figurée par M. Verstraeten.

Le dossier, détaillé et des plus intéressants, ainsi que la série d'échantillons correspondants qu'a bien voulu mettre à ma disposition M. Duraffour et qui feront l'objet, en leur temps, d'une publication spéciale, sont appuyés de *faits* et d'*éléments d'appréciation* irrécusables et des plus instructifs, desquels il résulte en toute évidence les points suivants, exprimant d'ailleurs la manière de voir de M. Duraffour sur la question du régime aquifère de la région considérée :

1° Pris dans son ensemble, le massif calcaire de la région de Tournai ne constitue nullement le réservoir initial d'alimentation des puits profonds de la région ;

2° Les principales sources aquifères alimentant les puits profonds sont constituées : a) dans les parties basses de la vallée, c'est-à-dire dans la ville, par l'important *cailloutis* (1) d'alluvions anciennes quaternaires qui, sous 11 à 12 mètres d'alluvions sablo-limoneuses de thalweg fluvial, sert directement de recouvrement au calcaire et dont les eaux en imprègnent irrégulièrement les joints, fentes et cassures, surtout abondantes dans les zones peu profondes ; b) dans les flancs de la vallée et sur le plateau, par

(1) Ce cailloutis est accumulé, sur une épaisseur de 1 à 3 mètres, à la base des alluvions quaternaires de l'Escaut, à Tournai. Par l'important niveau aquifère qu'il contient et qui se répand dans les fissures du massif calcaire sous-jacent, il alimente la majeure partie des puits forés, à Tournai, dans le calcaire. L'existence de ce cailloutis ainsi que son rôle ont complètement échappé à M. Verstraeten !

Dans sa figure de 1887, en effet, ici reproduite page 410, figure 3, j'ai résumé la légende de l'auteur, me bornant à indiquer, en regard du dépôt n° 4 de la figure : *alluvions perméables*. Mais la légende détaillée de M. Verstraeten fournissait pour ce n° 4, qui représente l'ensemble des alluvions de l'Escaut, remplissant toutes les parties basses de la vallée, la documentation que voici : « Alluvions *limoneuses* et *sableuses*, perméables, pénétrant (*sic*) dans la couche aquifère générale. » Du *CAILLOUTIS* quaternaire, il n'est aucunement question !

Dans sa nouvelle figure de 1900, à Liège (voir ici fig. 11), M. Verstraeten fait apparaître ce dépôt et il l'appelle « une formation détritique naturelle » ! ? Il en représente les éléments grossiers, non pas comme des cailloux *accumulés* dans les dépressions du calcaire, à la base des 11 à 12 mètres d'alluvions sablo-limoneuses qui les recouvrent, mais répartis *sporadiquement* au sein du dépôt alluvial et disposés *épars*, comme certains silex au milieu de la craie ! Alors qu'en réalité la couche A sablo-limoneuse de sa figure de 1900 devrait être représentée comme quatre ou cinq fois plus épaisse que la couche caillouteuse aquifère B, celle-ci est figurée avec une épaisseur moyenne *égale* à celle de A, soit des alluvions sablo-limoneuses recouvrant le cailloutis aquifère. Quant aux allures si *accidentées* de la surface du calcaire carbonifère sous le dépôt caillouteux fluvial B, elles seraient, je pense, assez difficiles à constater en réalité, telles surtout qu'elles sont représentées à droite du puits F. A ce point de vue également, le croquis de M. Verstraeten est quelque peu fantaisiste.

Tout ceci indique combien, dans les avatars successifs de ses hypothèses et figurés géologiques et hydrologiques du régime aquifère de la région de Tournai, M. Verstraeten est constamment resté, jusque dans ces tout derniers temps encore, bien loin de la réalité des faits.

le *cailloutis silexifère* crétacé, base des marnes turoniennes et qui draine les dépôts sableux landeniens et les dépôts fissurés marneux turoniens, recouvrant ce cailloutis des hauts niveaux au profit des fentes et des cassures du massif calcaire sous-jacent ;

3° La rencontre de fissures ou de joints aquifères de quelque importance constitue, dans les parties profondes du massif calcaire de Tournai, un cas que l'on peut considérer comme EXCEPTIONNEL. Il paraît toutefois exister au nord et au nord-ouest de Tournai une zone *assez localisée en largeur*, où la roche, moins massive, plus altérée et souvent représentée par des niveaux dits « pourris », fournit un réseau circulatoire aquifère plus développé. Les eaux obtenues au forage y sont d'abord noires et sales, mais se clarifient après un pompage prolongé ayant nettoyé les canaux circulatoires souterrains ;

4° Dans l'immense majorité des puits creusés dans le calcaire de Tournai (ville) et aux environs, la base d'alimentation provient soit directement des *dépôts caillouteux* recouvrants, soit des eaux de ces dépôts qui se sont infiltrées dans la partie supérieure, plus délitée, plus fissurée, du massif calcaire sous-jacent. Ces eaux ne peuvent guère convenir que pour des usages industriels.

A ceci j'ajouterai que les preuves *matérielles* de ce qui précède sont fournies, d'abord par la composition chimique et bactériologique, peu recommandable, des eaux de l'immense majorité des puits de Tournai, et par leurs variations parfois très grandes d'un puits à l'autre ; variations contraires à l'existence d'un réservoir général, sorte de nappe aquifère noyant le massif calcaire. Ces preuves sont fournies encore par toute une série de faits, trop longs à détailler ici, résultant des travaux et des observations de M. Duraffour. Je citerai toutefois les chutes subites — et dont certaines avaient l'amplitude d'une dizaine de mètres — observées maintes fois par ce sondeur pendant le forage de ses puits à Tournai, notamment après qu'il avait traversé la couche caillouteuse et aquifère superficielle. Je mentionnerai aussi l'influence réciproque, au pompage, — et, en certains points, par contraste, l'absence d'influence, — de puits voisins diversement reliés par des fissures s'alimentant dans le cailloutis. Enfin, au cours de ses nombreux travaux de forage profond à Tournai, M. Duraffour, après avoir, au début d'un travail de l'espèce, noté un niveau piézométrique, qui était celui des puits de la région environnante et aussi de la nappe phréatique, n'a que *très exceptionnellement* constaté des variations et surtout des *relèvements* de ce niveau : indice que les forages en profondeur avaient surtout pour résultat, souvent voulu d'ailleurs, de creuser au sein du massif calcaire compact un utile *réservoir* recevant et emmagasinant les eaux des niveaux supérieurs.

Je pourrais aligner ici une série d'exemples pris non seulement dans la région de Tournai, mais encore ailleurs, dans le grand massif hennuyer,

de calcaires horizontaux et montrant combien M. Verstraeten s'est étrangement mépris en admettant obstinément, pendant si longtemps, l'existence, au sein de ces calcaires, d'une *vaste nappe d'imprégnation générale* en profondeur.

Certains des cas constatés par M. Duraffour sont des plus curieux. Ainsi, il y a à Leuze deux puits creusés à *trois* mètres l'un de l'autre. L'un d'eux a rencontré, au-dessus du calcaire carbonifère, une veine de gravier aquifère, ayant imprégné d'eau les fissures du calcaire sous-jacent. Ce puits n'a que 18 mètres de profondeur et fournit de l'eau en abondance. L'autre puits a été poussé jusqu'à 38^m,50, soit 20 mètres plus bas dans la même roche, et est resté improductif; résultat évident de la direction des fissures aquifères et de l'imperméabilité du massif calcaire, très compact et privé de toute « nappe d'imprégnation » !

Devant les résultats, si généralement concordants, de l'expérience technique et des travaux pratiques d'un habile foreur de puits, dont les considérations ci-dessus exposées résument et synthétisent la manière de voir, ainsi que la mienne et celle de M. Rutot, M. Verstraeten voudra bien, on peut l'espérer, reconnaître qu'il n'a, malgré certain progrès dans ses idées sur la matière, pas plus correctement exposé récemment à Liège, en 1900, qu'il ne le fit naguère à Tournai en 1888, ni à Bruxelles en 1897, ni enfin à Liège en 1898 et à Gand en 1899, le régime aquifère des calcaires horizontaux.

Quant à son système actuel de préservation (fig. 11, en H) de l'influence néfaste des eaux superficielles, il ne lui sert en réalité ici qu'à reprendre en profondeur — lorsque fissure il y a — ce qu'il évite plus haut. Ce système donne assurément des chances d'épuration et de pureté plus grandes et présente souvent l'avantage d'une filtration mécanique mieux assurée, mais il n'offre nullement de garanties sérieuses de sécurité au point de vue chimique et bactériologique.

Ainsi, à 200 mètres à peine au nord de l'un des puits qu'une administration, bien mal inspirée sans doute, cherche en ce moment à utiliser à Tournai (1) pour l'alimentation de la ville en eau potable, on trouve dans les zones des alluvions de l'Escaut et à 200 mètres de distance du fleuve, un puits de malterie, profond d'une trentaine de mètres. Il se compose de deux tubes métalliques concentriques dont l'extérieur, long de 12 à 13 mètres, est engagé dans le *gravier aquifère*. Le tube central a vainement cherché une fissure aquifère dans le calcaire, et c'est l'eau du gravier qui, par *déversement* interne, passe en cascade du tube externe dans le tube interne ! C'est cette eau peu recommandable du gravier qui constitue donc le réservoir aquifère dans lequel s'alimente la pompe. Tant qu'il ne s'agit

(1) *Ville de Tournai. — Distribution d'eau. — Documents publiés en exécution de la résolution du Conseil communal du 16 novembre 1900; br. in-8°, 29 pages. Tournai, 1900, Van Gheluwe-Coomans.*

que d'eaux industrielles, c'est fort bien, mais en matière d'eaux potables on voit le danger !

A la fabrique de margarine, située à 500 mètres au nord-est, de l'autre côté de l'Escaut, on est vainement descendu dans le calcaire à 40 mètres, sans pouvoir absolument rien adjoindre à la base d'alimentation, toute superficielle, de ce puits, qui trouve son eau dans les *graviers quaternaires* de l'Escaut et dans les fissures superficielles du calcaire qui s'y alimentent.

N'est-ce pas avec le même INSUCCÈS d'ailleurs que le puits de l'Asile des aliénés, décrit pages 411-412 du présent travail, *s'est enfoncé à 154 mètres dans le massif calcaire* sans y rencontrer guère d'autre eau que celle infiltrée, dans le haut du calcaire, des dépôts meubles et caillouteux recouvrants.

On le voit, l'évolution de M. Verstraeten, à laquelle d'ailleurs on ne peut qu'applaudir, est encore loin d'être suffisante pour lui permettre d'arriver à la vérité scientifique, ou même à de bons résultats pratiques. Bien que notre honorable contradicteur commence à s'apercevoir nettement de l'absence, dans les calcaires de la région considérée, des vastes nappes profondes et d'imprégnation générale, invoquées par lui il y a si peu de temps encore ; bien qu'il localise maintenant aux seules parties profondes de tels massifs calcaires les eaux *saines*, — qui en réalité sont les eaux d'origine superficielles, généralement un peu mieux filtrées en profondeur, — il paraît ne s'apercevoir nullement que ce filtrage peut, sans qu'on s'en doute, laisser beaucoup à désirer (1) et, ensuite, que les fissures amenant les eaux à grande profondeur sont ou peuvent être rares ou bien très accidentelles (2), au point que le plus souvent on ne peut guère compter sur leur présence.

(1) Dans un forage exécuté dans le calcaire à Anvaing, près de Frasnes (entre Tournai et Renaix), le roc primaire a été rencontré par M. Duraffour à 40^m, 75. Or l'outil, à 49 mètres, a fait une chute brusque de 3 mètres, et il a été ramené, de ces profondeurs, de la roche décomposée, des fossiles détachés de leur gangue, devenue terreuse, et tous les indices d'une fissure ou cavité en calcaire « pourri », dont certes les dimensions et la garniture meuble n'étaient guère de nature à assurer une filtration sérieuse à la « rivière souterraine » rencontrée par ledit forage dans cette roche cariée.

(2). Un puits creusé à Péruwelz, par M. Duraffour, avait vainement percé le calcaire sans rencontrer d'eau, jusque 100 mètres du sol. Il allait être abandonné après cette navrante constatation d'absence totale de venue aquifère et encore plus de nappe générale d'imprégnation conforme aux vues de M. Verstraeten, lorsque le foreur, désireux de prendre à cœur les intérêts de son malheureux client, ainsi déçu, proposa une dernière tentative, qui fut exécutée dans des conditions peu onéreuses. A 103 mètres, on rencontra, par une chance inespérée, une fissure aquifère à débit abondant, qui fournit une eau *jaillissante* au sol. Le massif calcaire tout entier, ici très massif et homogène, jouait donc le rôle de *couche imperméable*, maintenant sous pression les eaux profondes localisées dans la fissure si heureusement rencontrée, grâce à l'obligeante persistance du sondeur.

Combien de tels faits d'absolue localisation en profondeur des eaux du calcaire nous éloignent des conceptions et des hypothèses de M. Verstraeten, ancienne et nouvelle manière.

III. — Le dernier exposé de M. Verstraeten au sujet de l'hydrologie des terrains calcaires rocheux en formations plissées et relatif au mode de captage de leurs eaux.

L'exposé fait par M. Th. Verstraeten à la séance du 29 avril 1900 de la Société géologique de Belgique, à Liège, exposé intitulé : *Filtration naturelle au point de vue de l'ingénieur*, et qui nous a fourni le thème des considérations qui précèdent au sujet des calcaires *horizontaux* de la région de Tournai, a aussi fourni à l'ingénieur bruxellois l'occasion de faire connaître ses vues actuelles sur le régime aquifère des *formations calcaires plissées* ou en bassins ondulés. Je reproduis ci-dessous, très fidèlement, la figure 7 du travail de M. Verstraeten, qui portera ici le n° 12.

Avant d'aborder l'examen de cette figure, je tiens à renvoyer le lecteur à la figure 1 de la page 396 du présent travail, encore reproduite comme figure 8 à la page 501, ainsi qu'à l'exposé fait, pages 396-398, des trois éléments A, B, D, soit du régime *inférieur statique*, du *trop-plein* de celui-ci et du régime *circulatoire localisé* constituant, par leur réunion, la fameuse CONCEPTION HYDROLOGIQUE NOUVELLE, dont la critique a si fortement occupé M. Verstraeten en 1897.

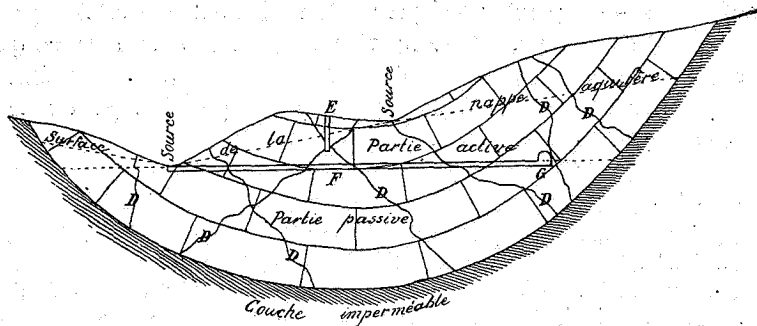


FIG. 12. — Régime aquifère d'un massif rocheux calcaire en formation plissée et mode de captage, d'après M. Verstraeten, de ses ressources aquifères (1).

LÉGENDE : D. Fentes naturelles du calcaire.

E. Puits ordinaire.

F. Conduite étanche ou simplement maçonnée à la rencontre des fentes du calcaire.

G. Galerie drainante.

(1) A noter que dans cette figure M. Verstraeten appelle *couche imperméable* le TERRAIN schisteux sous jacent au calcaire, alors qu'il appelle *couche aquifère* (de *aqua* : eau et *ferre* : porter) L'EAU du calcaire. En réalité, c'est aussi le TERRAIN calcaire qui est la *couche aquifère*, et de telles anomalies de terminologie sont étonnantes de la part d'un auteur qui se pique de rectifier et d'unifier les expressions employées en nature de terminologie hydrologique. (Voir aussi la note 1 de la page 498.)

Cette conception, incidemment exposée par M. Rutot et moi dans les douze lignes dont M. Verstraeten s'est si vivement ému pour les combattre avec tant d'apreté, la voici tout simplement reprise et appliquée aux mêmes types de dépôts par notre honorable contradicteur, qui s'en approprie le fond en en débaptisant les termes !

Qui donc pourrait contester, après avoir jeté le regard en arrière que je sollicitais tout à l'heure du lecteur, et s'être ensuite reporté aux données de la figure ci-dessus, que la *partie passive* de la couche aquifère de M. Verstraeten n'est autre chose que notre zone A du régime inférieur statique; que sa *partie active* n'est que notre zone BB de *trop-plein* et alimentant les sources du thalweg dudit régime inférieur statique. Enfin, le diagramme nouveau de M. Verstraeten montre nettement, par le figuré très précis, au sein de notre zone supérieure DD, des canaux, fissures et débouchés d'aiguigeois constituant précisément tout l'appareil de notre régime circulaire localisé, que l'heure est venue enfin où notre honorable contradicteur a compris et admis, comme parfaitement fondée sur la réalité des faits, cette *conception hydrologique nouvelle*, si malmenée par lui dans son travail critique de 1897.

Le *texte* qui accompagne cette figure, synthétisant les vues nouvelles de M. Verstraeten, est *moins éloquent*; il semble que M. Verstraeten ait voulu mettre une certaine réserve dans l'exposé de sa si louable conversion à la thèse qu'il combattait précédemment.

Ce texte ne dit mot, en effet, des si intéressants éléments nouveaux, ou qui, du moins sous des *noms nouveaux*, sont venus, à partir de 1898, comme on l'a vu antérieurement, compléter, dans le sens indiqué par M. Rutot et par moi, en 1895, le dispositif du régime aquifère des calcaires rocheux fissurés.

Après avoir fait remarquer que « c'est surtout la partie supérieure des roches qui est fissurée et par suite contaminable » et que « les sources captées à l'émergence sont presque toujours souillées »; après avoir ajouté qu'il en est de même des « petits puits », ce texte se borne à indiquer dans les dix lignes reproduites ci-dessous quel est, dans le cas de la figure 12, le dispositif à donner pour drainer souterrainement, dans une vallée rocheuse calcaire, les eaux alimentaires qu'on recherche dans le massif encaissant :

« Pour recueillir une eau pure, il faut, à partir du fond de la vallée, »
 » percer une conduite d'amenée plus ou moins perpendiculaire à la »
 » direction des couches, entièrement étanche, ou protégée seulement par »
 » un revêtement imperméable à la traversée des fissures; à son extrémité, »
 » c'est-à-dire à une distance de la surface du sol telle qu'on soit à l'abri »
 » des infiltrations superficielles, on creusera une galerie de captage, »
 » parallèle cette fois à la direction des couches, et on lui donnera une »
 » longueur suffisante pour qu'elle fournisse la quantité d'eau nécessaire. »

Il est bien étrange assurément que la figure fournie par M. Verstraeten se charge elle-même de donner un *éclatant démenti* aux espérances de l'auteur du dispositif représenté. En effet, le simple examen de la figure 12 montre très nettement la possibilité, la probabilité même, d'arrivée d'eaux douteuses, ou aisément contaminables, dans la galerie drainante projetée.

Lorsqu'une galerie d'eau alimentaire se trouve, comme ici en G, creusée au sein d'un massif calcaire parcouru de fissures ayant de multiples communications avec le sol du plateau, qu'importe la distance de celui-ci à la galerie, si les fentes, soit par leur largeur, soit par l'absence de *colmatage limoneux* ou *sableux*, empêchent la filtration des eaux de surface; s'il en est parmi celles-ci qui soient ou contaminées ou seulement contaminables accidentellement, les eaux de la galerie drainante les recevront au même titre que des eaux plus pures.

C'est donc l'ensemble des *présomptions* que donne l'étude des parties accessibles (par carrières et par coupes naturelles, par puits et par forages) des fentes et des cassures, qui pourra guider, dans une certaine mesure, sur la *valeur filtrante* de ces fentes, cassures et canaux du calcaire, conduisant souterrainement les eaux. Si cet ensemble de présomptions s'accorde, d'une part avec des expériences à la fluorescéine, à la levure de bière et autres, judicieusement faites, d'autre part avec le résultat favorable de séries, longtemps poursuivies, d'analyses chimiques et bactérioscopiques consciencieuses, ALORS SEULEMENT ON POURRA AVOIR DES APAISEMENTS sérieux sur la valeur, soit des sources émergeant du calcaire, soit des eaux à capter dans des galeries creusées, comme en G, au cœur du massif lui-même. C'est là un **ÉLÉMENT ESSENTIEL** dans la question, et dont M. Verstraeten a eu le grand tort, dans son récent exposé à Liège, de ne pas dire un mot.

Il semblerait, d'après cet exposé, qu'il suffise de rendre étanches certaines parties de la galerie d'adduction F, à venues d'eau douteuses, amenées par des crevasses trop voisines du sol, pour être, par ce procédé, très discutable en réalité, certain d'obtenir des eaux absolument recommandables. Il semble aussi que seules celles-ci pourraient alimenter la galerie drainante plus profonde G.

C'est là une profonde erreur. D'abord, les eaux de toute fissure artificiellement obstruée ou bouchée au sein des calcaires s'accumulent, puis trouvent de *nouveaux déversements* en employant des voies différentes, qui restent insoupçonnées. Ensuite, qu'importent et la longueur et l'amplitude verticale d'un canal souterrain d'amenée ou d'une fissure aquifère à eau douteuse, ou pouvant être polluée, si cette fissure n'est pas efficacement *colmatée* et devenue *filtrante* dans son parcours caché. Et comment le savoir sans expériences spéciales, toujours fort délicates?

De même qu'il existe parfois dans les massifs rocheux calcaires depuis longtemps restés continentaux, comme les nôtres en Belgique, des fentes

et des canaux circulatoires disposés ou bien *garnis* de manière à ce que les eaux qui y circulent subissent un filtrage sérieux et prolongé, de même aussi il en est d'autres — et dans la plupart des régions calcaires ils paraissent être les plus nombreux — où l'eau circule rapidement, sans épuration, sans rencontre d'aucun élément de filtrage et où, par conséquent, elle peut garder, sur des étendues souterraines considérables, ses troubles (1) et ses propriétés peu hygiéniques, ou même nocives.

Reportons-nous maintenant à la figure fournie par M. Verstraeten. Examinons avec soin certaines des « fentes naturelles du calcaire », celles qui, dans la figure 12, sont marquées D, et occupons-nous notamment de la *deuxième* d'entre elles, vers la droite du dessin susdit, fissure qui débouche supérieurement au sol du plateau, et cela peut-être sous la forme très normale d'un bel *aiguigeois*. Or, cette crevasse du calcaire vient précisément déboucher aussi dans les parois de la galerie drainante représentée en G.

Qui donc pourrait nous garantir que, soit par son débouché direct au sol du plateau, soit par ceux des autres fentes du sommet du massif, avec lesquelles communique, par les joints du calcaire, la fente considérée, celle-ci ne sert pas tout simplement d'*égout collecteur*, ne fût ce qu'en temps d'orage ou de pluies torrentielles et à forts ruissellements, ou bien encore, en temps de fonte des neiges, aux eaux troublées, louches ou *pouvant devenir* contaminées, qui proviennent du plateau plus ou moins habité, surmontant le massif calcaire représenté?

Supposons même qu'au moment de l'étude et du creusement de la galerie G, celles des eaux du massif calcaire déversées en G par la *deuxième crevasse de droite* aient été soigneusement examinées. Admettons qu'on ait fait appel alors à l'analyse tant chimique que bactérioscopique, bien qu'il ne soit guère d'usage, en des travaux de l'espèce, de se livrer à une enquête détaillée de ce genre, pourtant si recommandable lorsqu'elle est suffisamment prolongée.

Admettons que le résultat de cet examen ait fourni la notion d'eaux saines et pouvant être englobées dans le produit de la galerie G.

Mais est-ce là une raison — en présence du dispositif structural particulier au calcaire — pour qu'il en soit encore de même après huit jours de fonctionnement normal et complet de la galerie, abandonnée à elle-même? En sera-t-il de même après quelques mois, ou quelques années plus tard, lorsque l'influence, par exemple de périodes climatériques et pluviométriques *différentes*, aura apporté des modifications dans le volume, dans le niveau et dans la circulation des eaux du réseau aquifère actif des fissures?

Sans attendre aussi longtemps, l'influence d'orages violents et de ruis-

(1) Voir la note 2 de la page 439. (Voir aussi le texte du Dr Raymond, p. 526.)

sellements intenses sur la surface du plateau et sur le réseau aquifère d'absorption ne pourra-t-elle suffire pour modifier parfois *profondément* les QUALITÉS de l'eau amenée en G par la fissure considérée?

Qui donc, possédant quelque compétence en la matière, oserait affirmer la *constance* des qualités et de la valeur hygiénique des eaux ainsi déversées dans la galerie drainante?

Certes, tant que les eaux de ruissellement superficiel et d'absorption calcaire localisée du plateau resteront à l'abri de causes de pollution ou de contamination, les eaux souterraines correspondantes des diverses fentes et crevasses D resteront — celles se déversant en G comme les autres — saines et utilisables. Mais que, par exemple, les eaux ménagères ou résiduaires d'habitations de paysans infectés de maladies contagieuses, de fièvre typhoïde, etc., viennent quelque beau jour à pénétrer dans l'extrémité absorbante supérieure de notre deuxième fissure ou de quelque autre, voisine, communicante..., on voit le résultat! sans que d'autres que le *géologue* se doutent peut-être jamais *comment* et *pourquoi* se sera si déplorablement modifié l'état de choses favorable antérieurement constaté. Quant à l'agglomération tirant son eau alimentaire de la galerie G, elle pourra avoir à redouter les plus meurtrières épidémies, sans que rien puisse faire prévoir l'imminence du danger.

Que l'on mette à nu, par exemple, en le débarrassant de son manteau filtrant protecteur, sableux ou limoneux, un modeste petit espace rocheux du plateau aboutissant à une des fentes D de la figure 12 de M. Verstraëten, et que ce travail, s'opérant *plusieurs années après un bon fonctionnement régulier de la galerie d'eau alimentaire G*, serve à déblayer le terrain nécessaire à la construction d'une habitation rurale, avec *fosses d'aisances* et *trous à purin*. La résultante assurée est que les liquides résiduaires de ces dépendances vont pouvoir s'infiltrer dans les crevasses sous-jacentes, débarrassées de leur manteau protecteur. Que deviendra alors la sécurité des bases d'alimentation de la galerie G (1)?

Si l'extrémité supérieure de l'une ou l'autre des fissures en communi-

(1) Il s'est passé, il y a quelques années déjà, dans un hôtel important d'une localité belge, un fait auquel il faut espérer qu'il aura été apporté remède depuis.

Dans cet hôtel, bâti sur un mamelon calcaire fissuré, qui domine la rivière voisine et sur le flanc duquel s'étagent les maisons d'une petite ville, on travaillait à l'établissement de nouveaux water-closets. En voulant construire des égouts, ou plutôt la conduite de décharge de cette installation, on a mis à nu la roche, précisément en un point où une fissure béante s'ouvrait sous le pic des maçons. Sans hésiter, le propriétaire de l'hôtel a fait arrêter les frais et a utilisé la fissure du calcaire pour l'usage que l'on comprend. Où vont ces matières? Peut-être à la rivière, mais peut-être aussi se délaient-elles dans les eaux courantes souterraines du massif calcaire et vont elles influencer l'une ou l'autre source en contre-bas dont les eaux cristallines sont bues avec délices par les touristes ou par les gens du pays qui ne jugent d'une eau que par les caractères trompeurs de sa fraîcheur et de sa limpidité apparentes.

cation avec celle-ci et servant à son alimentation est en relation avec le sol calcaire du plateau, soit par un *aiguigeois*, soit par un *trou perdu*, dispositifs qui si souvent ne sont que les orifices élargis et béants de crevasses profondes, telles que les fentes D de la figure de M. Verstraeten, et si ces cavités renferment les cadavres en putréfaction d'animaux qui y sont tombés ou qu'on y a jetés (1), on comprend combien les eaux provenant de ces fissures doivent inspirer de méfiance.

Tout l'exposé qui précède des dangers et des inconvénients d'une base d'alimentation acceptée sans étude géologique préalable, très minutieuse, dans les calcaires plissés et fissurés, devient bien plus frappant encore, lorsque, au lieu de chercher à s'en rendre compte à l'aide des données de la figure 12 de M. Verstraeten, on reporte tout le raisonnement qui précède aux données plus détaillées de la figure 9 (p. 502). Tous les cas qui viennent d'être énumérés s'y trouvent schématiquement représentés.

Tout cela est d'ailleurs bien connu, et les travaux de M. E.-A. Martel, notamment, ont fourni de frappants exemples du déplorable état de choses et des responsabilités qui découlent de cette insouciance, jusqu'ici trop généralement professée dans les campagnes, en ce qui concerne le dangereux dispositif des bétoires et des trous perdus du calcaire, trop souvent utilisé comme *charniers*. L'autorité supérieure a fini par s'en émouvoir chez nos voisins, et dans le Rapport de la Commission française dont il a été question et qui accompagne et commente le nouveau *projet de loi* consacré aux questions de drainage d'eaux alimentaires et de distribution d'eau, il a été énoncé notamment un projet d'article spécial dont les deux premiers paragraphes sont ainsi conçus :

ARTICLE 7. *L'abandon de cadavres d'animaux, de débris de boucherie, fumier, matières fécales et en général de résidus d'animaux putrescibles dans les failles, gouffres, bétoires ou excavations de toute nature autres que les*

(1) J'ai eu l'occasion, il y a quelques années, de faire retirer de l'embouchure du chanoir de Trou-le-Coq, à Hodechamps, dans la vallée sèche du nord de Remouchamps, le cadavre, en pleine décomposition, d'un énorme chien de chasse, dont la charogne infecte empestait l'air et se baignait dans le poétique ruisseau s'engouffrant dans le chanoir, pour reparaitre plus bas sous forme d'une abondante source.

Je connais maints et maints orifices dans le calcaire où des chiens se sont jetés étourdiment à la poursuite du gibier en fuite et d'où ils n'ont jamais reparu. Or que de prétendues sources dans les régions calcaires ne sont que des émergences de ruisseaux souterrains où se sont noyés les animaux égarés au sein des couloirs et canaux de massifs calcaires. Je suis à même, dans telle localité voisine de l'Amblève, de colorer, par de la fluorescéine versée à plusieurs kilomètres de distance dans une partie du ruisseau, *la fontaine publique* à laquelle s'alimente un gros hameau. Si au lieu d'une substance inoffensive et révélatrice c'étaient des principes dangereux et infectieux qu'un accident, qu'un cadavre d'animal égaré ou sauvage amèneraient à polluer le lieu de disparition du cours d'eau, ici situé en plein bois, on voit d'ici l'influence que tel fait aurait sur la santé publique.

fosses nécessaires au fonctionnement d'établissements classés, est interdit sous les peines prévues par les articles 479 et 480 du Code pénal.

Les sources, puits, puisards, puits absorbants, bétaires, gouffres, failles et abreuvoirs susceptibles de contaminer les eaux potables sont assimilés aux mares insalubres visées par les articles 22 et 23 de la loi du 21 juin 1898.

La Commission française, pour justifier cet article nouveau, non compris dans le projet de 1891, rappelle que, bien que la loi récente du 21 juin 1898 donne aux maires les moyens de faire supprimer certains éléments nuisibles à la santé publique en matière d'influence sur les eaux alimentaires, c'étaient seules les *mares insalubres* qui se trouvaient visées par cette loi. Comme il est *reconnu* maintenant que les puisards et les bétaires peuvent avoir une influence défavorable non moins grande, la Commission a voulu, par l'adjonction de cet article 7, armer les maires contre cette cause possible de pollution des nappes d'eau alimentaire. Il faut espérer que cette loi si utile sera adoptée par les Chambres françaises lorsqu'elles auront à discuter la nouvelle législation sur les sources et sur les travaux de drainage d'eaux alimentaires.

Il est à remarquer que, dans le même ordre d'idées, le nouveau projet de loi élaboré par la Commission française comprend un autre article (art. 6) assimilant aux sources, pour l'application de certains articles (1), les *puits* et les *galeries* fournissant de l'eau potable empruntée à une nappe souterraine.

Cette digression nous a entraîné assez loin en apparence de la galerie G préconisée par M. Verstraeten (fig. 12) pour drainer les eaux souterraines d'un massif calcaire à couche pliée ou ondulée formant bassin.

Nous avons exposé avec quelle facilité les eaux d'une telle galerie pouvaient *éventuellement* se contaminer par l'action de ces dispositifs de communication et d'ouverture au sol que vient de viser si justement la Commission française, éclairée sans doute par les études de M. Martel.

La mise en relief ici de ces graves conséquences eût été quelque peu puéride si, pour les exposer, je m'étais uniquement basé sur la démonstration inconsciente que M. Verstraeten a fournie, par son propre dessin (fig. 12), du bien fondé de mes vues.

Mais il est aisé de comprendre, surtout après que l'on aura examiné attentivement la figure 9 de la page 303, que tout ceci ne repose nullement sur la curieuse coïncidence fournie par le diagramme de mon honorable contradicteur. Le cas qu'il a graphiquement, sans le vouloir, si bien mis

(1) Notamment en ce qui concerne le droit à l'usage, le droit d'acquisition et surtout la détermination d'un périmètre de protection, l'interdiction de polluer les terrains compris dans ce périmètre et d'y introduire aucune matière fécale. De même en ce qui concerne l'interdiction de pratiquer des excavations sans autorisation spéciale, etc.

en relief, sans paraître en comprendre la portée, ne peut manquer de se représenter *maintes fois*, dans les mêmes conditions, *tout le long du parcours* de sa galerie drainante G, et c'est là le véritable danger.

Dans certaines régions localisées où le calcaire est recouvert d'un *manteau filtrant* sableux ou limoneux (voir en *m'* sur le plateau de gauche, dans la fig. 9, p. 503), ou bien dans divers de nos massifs rocheux à crevasses, joints et canaux *bien colmatés* et ainsi munis intérieurement de *filtres adventifs sableux et limoneux*, ce type de roches peut parfaitement fournir des eaux, sinon très recommandables en principe, du moins parfois *admissibles*, avec certaines réserves et précautions spéciales pour l'alimentation publique.

C'est la détermination de ces cas favorables qu'ont à résoudre, après expérimentation *prolongée*, et *précédée* d'une étude géologique approfondie, faite par un spécialiste, les chimistes et les bactériologistes venant, avec le géologue, en aide à l'ingénieur-hydrologue.

C'est, d'ailleurs, grâce à des bases favorables ainsi établies, que j'ai pu naguère défendre en conscience les eaux des belles sources du parc de Modave, dans la région calcaire de la vallée du Hoyoux (1).

C'est sans doute aussi le cas d'autres eaux du calcaire, actuellement employées pour l'alimentation publique, tant en Belgique qu'en France et ailleurs. Mais c'est plutôt *le rejet* de ces eaux du calcaire qui paraît devoir rester *la règle générale*, quoique nullement absolue à mon avis, et il est assurément INADMISSIBLE de déclarer, sans le contrôle et la confirmation fournis par une *étude scientifique, préalable et approfondie*, qu'il suffit d'établir, sans plus de préambule ni d'études, au sein de massifs calcaires, un dispositif de drainage souterrain, tel que le recommande et le figure ici M. Verstraeten, ajoutant *sans plus* : « tels sont les PRINCIPES qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires ».

Ce n'est certes pas en se bornant à l'application de tels « principes » que les agglomérations intéressées auront des garanties de bonne exécution et la sécurité si nécessaire pour l'avenir.

La persistance et même la prolifération des microbes, pathogènes ou non, qui, amenés par les eaux d'engouffrement ou de ruissellement des plateaux supérieurs, se retrouvent dans les eaux courantes souterraines circulant dans les canaux et dans certaines fissures des massifs calcaires de grande épaisseur et qui arrivent ainsi aux sources, n'est nullement une hypothèse ou une supposition.

C'est un *fait* qui a été scientifiquement constaté à maintes reprises, et afin d'en fournir ici un exemple dont le détail soit vérifiable dans des textes aisément accessibles à tout le monde, je me bornerai à rappeler

(1) *Loc. cit.* (Voir la note 1 de la page 440.)

les résultats exposés par M. le Dr *Paul Raymond* dans le n° 1185 (du 15 février 1896, pp. 171-172) du journal *La Nature*, dans un article intitulé : *La rivière souterraine de Mindroï*.

Il s'agit ici de grottes creusées dans le calcaire de la région des Causses en Ardèche et qui servent de canal à une véritable rivière souterraine, affluent intermittent de l'Ardèche. En temps ordinaire, l'écoulement s'opère par un déversement adventif, constitué par la belle source de Rochebrune, débitant 220,000 litres par vingt-quatre heures. Sur un parcours d'environ 500 mètres reconnus de ce cours d'eau souterrain, la descente, très rapide et entrecoupée de lacs, de paliers et de *gours* (bassins d'eau tranquille à murailles festonnées purement stalagmitiques) est d'environ 48 mètres.

La cavité que suit la rivière souterraine de Mindroï n'est en réalité qu'une vaste diaclase, une grande fissure, par laquelle s'écoulent, dit M. le Dr *Raymond*, « les eaux drainées sur le plateau par les avens, les orifices, les cavités de tout genre, qui font de la masse des Causses une véritable éponge ».

Des échantillons d'eau ont été recueillis par l'explorateur dans la rivière souterraine, dans les lacs, dans les *gours* isolés du courant, dans les suintements des cavités et, enfin, à l'extrémité des stalagmites. Ces échantillons ont servi à ensemercer des tubes de gélose préparés en vue de recherches microbiologiques, et ces prélèvements ont été effectués avec toutes les précautions requises en la matière.

Or, voici ce que dit (p. 172 du recueil précité) l'auteur des résultats de son expérience (1) :

D'une façon générale, les tubes à culture dans lesquels on a ensemercé de l'eau provenant de la voûte suintante, des stalactites, des *gours* dans lesquels l'eau n'a pas été remuée depuis longtemps, restent stériles, c'est-à-dire que les eaux ne renferment pas de microbes. Mais si l'on examine une goutte d'eau provenant des événements ou de ces belles sources qui s'échappent des fissures du rocher, ou encore des *gours* ou lacs de ces rivières souterraines dans lesquelles les microbes n'ont pu se déposer, des colonies microbiennes se développent : le filtre calcaire n'est plus suffisant et s'il arrête les grosses impuretés des eaux tombées sur le plateau, il laisse passer les infiniment petits que sont ces microbes. C'est qu'en effet, et bien que l'épaisseur de la masse calcaire soit souvent supérieure à 250 mètres, le filtre n'est pas homogène ; il est fissuré, et par ces failles, par ces diaclases dans lesquelles la circulation est pourtant assez lente pour que l'eau, entrée boueuse sur le plateau, ressorte à la source d'une pureté admirable, LES MICROBES CONTINUENT A CHEMINER.

A la vérité, les microbes que j'ai rencontrés ne sont pas pathogènes ; mais on comprend toute l'importance de ces recherches : si des microbes banaux entraînés par les eaux tombées sur le plateau peuvent être retrouvés à 250 mètres au-dessous de lui, rien n'empêche que des microbes nocifs, le microbe de la fièvre typhoïde, par

(1) Je me suis borné à souligner sans commentaires trois passages de ce texte, sur lesquels j'attire plus particulièrement l'attention.

exemple, celui de la diphtérie, celui du choléra, qui vivent dans les eaux, ne puissent, aussi s'y rencontrer. Il y avait là tout un intéressant problème d'hygiène et de prophylaxie publique à étudier. *Méfions-nous donc de ces belles sources cristallisées, si sur le plateau d'où elles proviennent il y a eu des épidémies.* Elles peuvent renfermer des micro-organismes, les uns indifférents, les autres dangereux.

L'auteur donne ensuite quelques détails techniques sur les microbes qu'il a trouvés et qui, dès la vingtième heure, avaient, dans ses tubes de gélose, fourni des colonies microbiennes du genre MICROCOQUE : (*M. aurantiacus*, *M. citreus* et *M. aquatilis*).

Les expériences bactériennes si intéressantes, faites à l'aide de l'inoffensive levure de bière dans les calcaires crayeux fissurés du bassin de Paris, lors des dernières études entreprises au sujet du captage des sources de l'Avre et de la Vanne, ont montré à l'évidence, de leur côté, avec quelle facilité se fait, à d'énormes distances et épaisseurs de massifs calcaires fissurés, la véhiculation et la prolifération souterraines des micro-organismes accompagnant les eaux d'engouffrement ou d'infiltration dans les terrains calcaires.

Si après ces constatations, on veut bien se reporter aux figures 11 et 12, reproduites d'après les tracés de M. Verstraeten, ainsi qu'à notre figure schématique 9, de la page 503, et si l'on veut bien tenir compte de ce qu'au lieu de plateaux, *généralement déserts et inhabités* comme ceux des Causses, nos plateaux calcaires à nous, dont les figures 9 et 12 rappellent les allures et dispositions, sont au contraire assez souvent *parsemés d'habitations*, on sera pleinement édifié sur la valeur de la thèse de notre honorable contradicteur et sur le *degré de sécurité* qu'offre son système d'établissement de galeries drainantes, de puits ou de captage de sources en terrains calcaires, non précédé des études et des éclaircissements préalables de l'enquête scientifique et surtout *géologique*, confiée à des spécialistes ou à des professionnels compétents.

CONCLUSIONS.

Exposé détaillé des éléments d'un programme d'études scientifiques préalables à la mise sur pied technique d'un projet de drainage ou de captation d'eaux alimentaires, spécialement dans un massif rocheux calcaire plissé et redressé.

Comme résultante de l'ensemble des considérations qui précèdent, spécialement dans les trois parties de la présente *Note additionnelle* n° 3, il nous sera permis de regretter que M. Verstraeten, dans l'exposé qu'il a fait des « principes qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires », se soit simplement borné, en ce qui concerne les travaux de drainage alimentaire *en formations calcaires*, à n'indiquer que les conditions matérielles, bien connues, d'établissement de divers dispositifs (puits tubés concentriques, à manchon isolateur; galeries drainantes, etc.) permettant d'*obtenir de l'eau*, mais ne donnant aucune garantie, aucune sécurité au sujet de la *valeur de cette eau*, ni en ce qui concerne la *persistance* de ses bonnes qualités alimentaires.

C'est la conséquence naturelle de sa manière toute spéciale d'envisager le régime aquifère des calcaires, qu'il traite comme s'il s'agissait tout simplement de nappes d'imprégnation générale en dépôts meubles, où l'eau, une fois obtenue et convenablement captée ou drainée, reste indéfiniment de même composition, d'élaboration uniforme et de qualité alimentaire non variable.

On a vu tantôt, pour ce qui concerne les *calcaires rocheux horizontaux* du type de la région de Tournai, combien sont peu justifiés et inefficaces en l'occurrence les dispositifs de puits tubés concentriques, avec anneaux bétonnés séparatifs, isolant prétendument les eaux de surface. Le dispositif préconisé par M. Verstraeten se bornera, dans des cas analogues à celui de Tournai, — et ils sont fréquents, — à reprendre *par-dessous* ces eaux de surface, un peu moins contaminées peut-être par suite de leur circulation plus ou moins prolongée dans certaines des crevasses du calcaire où plonge son tube central inférieur.

On vient de voir aussi, pour le cas des *calcaires en bassins*, ondulés ou repliés en synclinaux, quels peuvent être, beaucoup trop facilement, les inconvénients de galeries creusées sans tenir compte des données géologiques souterraines locales, et sans l'adjonction des dispositifs

spéciaux et raisonnés de protection efficace, que peut seule faire déterminer l'*enquête scientifique préalable et approfondie*, dont le GÉOLOGUE principalement est appelé à formuler le programme rationnel.

Après cette double démonstration, fournie par deux des principaux cas rencontrés dans les calcaires rocheux et dans leur régime aquifère, il ne paraîtra pas inopportun de remplacer les conseils donnés par M. Verstraeten par les indications tout autres, ci-dessous exposées.

Beaucoup de lecteurs penseront sans doute, avec mes amis et moi, que celles-ci donneront beaucoup plus de chances de succès que le système proposé par M. Verstraeten, non seulement pour « trouver une eau pure », mais surtout pour assurer, dans l'avenir, la *constance* de ses bonnes qualités alimentaires.

Il doit rester bien entendu que j'ai toujours en vue ici le cas le plus compliqué, le plus scabreux : celui du drainage d'eaux alimentaires en terrains rocheux calcaires plissés et redressés, tels, en un mot, que les massifs disloqués et à allures variables et irrégulières de nos calcaires devoniens et carbonifères.

Je me place aussi dans l'hypothèse que les intérêts des populations en jeu soient assez importants, par le chiffre même de ces populations, pour justifier un travail bien conditionné et que ne viennent pas restreindre fâcheusement des préoccupations d'économies *mal entendues* et préjudiciables au but hygiénique et sanitaire poursuivi.

Plutôt que de reculer devant les frais et les nécessités d'études que réclame une *sécurité réelle*, il vaut mieux, en cas de projet d'alimentation dans les calcaires ne pouvant s'appuyer sur une étude scientifique sérieuse, adopter la thèse un peu absolue de M. Éd. Dupont et rejeter systématiquement, pour l'alimentation publique, l'eau des calcaires rocheux, plissés et disloqués.

La marche rationnelle à suivre, comme développement de mon programme de 1890, et qui se trouve être d'accord (1), avec les lignes directrices qui viennent d'être adoptées par les pouvoirs publics en France, consiste à faire *ouvrir* l'instruction du projet d'eaux alimentaires par **une étude géologique détaillée**. Celle-ci, pour bien faire, doit être confiée à un *géologue*, et plus spécialement, en l'occurrence, à un spécialiste familiarisé avec les allures et avec les caractères très spéciaux des terrains calcaires rocheux fissurés et avec leur hydrologie.

(1) Sauf, bien entendu, avec les conclusions émises par M. Babinet dans son *Annexe* relative à l'utilisation des sources dites « vauclusiennes ».

Ce spécialiste doit avoir conscience de sa lourde responsabilité et de l'importance de sa tâche, qui n'est pas seulement purement géologique, mais qui doit, dans le cas présent, englober ce que j'appellerai l'*hydrologie dynamique* de la région considérée. Sous ce nom, on doit comprendre l'ensemble des phénomènes constituant le *cycle complet circulatoire souterrain* des eaux courantes du massif calcaire à drainer.

Le géologue apte à se rendre compte des allures et des inflexions souterraines des couches, des accidents de tectonique et de faillage de leurs diverses masses, des variations et des localisations d'éléments lithologiques des multiples bancs de la formation calcaire considérée, sera seul à même d'apprécier sainement l'influence de ces conditions variables et différentes. Seul aussi, il pourra prévoir, du moins avec de grandes chances de probabilités, les étroites relations existant entre ces divers facteurs géologiques et les phénomènes de la circulation ou de la localisation souterraine aquifère. Cette partie spéciale des études à entreprendre, à laquelle j'applique ici le nom d'*hydrologie dynamique*, est donc bien plus du ressort du géologue que de celui de l'ingénieur ou du technicien, proposant ou établissant les dispositifs de captage. Aussi est-ce pour ce motif que, dans mon programme de 1890, j'ai tenu à englober, dans l'enquête géologique préalable réservée au spécialiste devant commencer l'enquête scientifique, une part dans l'étude du régime hydrologique de la région.

Aujourd'hui, et spécialement pour le cas du type considéré de roche calcaire aquifère, je précise encore mieux ma pensée en abandonnant à l'ingénieur le soin de traiter spécialement, au cours de cette phase *préliminaire scientifique*, le côté *statistique* des questions d'hydrologie, comprenant les opérations de jaugeages, de nivellement, etc., et, dans une certaine mesure, l'étude, qui cependant ne peut rester étrangère au géologue, des éléments climatologiques, météorologiques et pluviométriques de la région soumise à l'étude.

Même, dans le cas désirable d'une étroite collaboration entre le géologue et l'ingénieur, le premier aura à s'occuper spécialement de l'*hydrologie dynamique*, n'abandonnant au second que l'étude des questions d'*hydrologie statistique*.

Il va sans dire que le géologue, non moins que l'ingénieur, doit s'astreindre à faire ses études et à poursuivre son enquête *sur place* et nullement d'après des cartes ou d'après des documents et échantillons, si détaillés qu'ils soient, commentés et interprétés *à distance*.

Un précieux auxiliaire des ces études géologico-hydrologiques est fourni, il est à peine besoin de le dire, par la série, bien connue et

toujours si instructive, des expériences à la fluorescéine et par celles, plus précieuses encore, au point de vue bactériologique, faites à l'aide de la *levure de bière*.

En ce qui concerne les conclusions à tirer du débit des sources et de leurs minima et maxima, de leurs variations périodiques ou accidentelles, le géologue devra bien se garder de tomber dans l'erreur où s'obstine si fâcheusement M. Verstraeten et qui consiste à vouloir établir, entre ces débits et l'élément combiné des chutes pluviales et des superficies des bassins hydrographiques apparents, les mêmes relations, définies et intimes, que celles qui sont admises pour les bassins à dépôts meubles et homogènes.

Il devra donc éviter soigneusement l'application, au régime aquifère des calcaires rocheux, plissés et redressés, de la méthode, ici illusoire, des *rendements à l'hectare-jour*. Bref, il devra s'inspirer des multiples applications du principe de la *différenciation des régimes aquifères* et de leur corrélation intime avec les données de la GÉOLOGIE.

Ce complexe, étroitement uni, d'observations *géologiques* et d'*hydrologie dynamique* doit être repris et continué à diverses époques saisonnières bien distinctes de l'année. Le géologue peut, toutefois, dans bien des cas, se borner à en fournir le programme motivé et à en faire assurer la bonne exécution, voire même le contrôle. Il est indispensable, on le comprend, qu'il puisse se rendre compte, de même que les intéressés et que l'ingénieur, auteur du projet, des influences qu'apportent, au régime aquifère des terrains calcaires fissurés, les différences d'actions climatiques d'hiver et d'été, parfois si considérables dans ces massifs fissurés.

C'est d'ailleurs sur ces bases et par analogie, quand manquent les statistiques antérieures précises, que l'on parvient à évaluer, dans une certaine mesure, lorsque le temps d'étude paraît devoir manquer ultérieurement, la valeur absolue des *termes extrêmes* de débit, ainsi que les variations éventuelles de qualité et de composition des eaux. Celles-ci ne peuvent manquer d'être influencées par les *minima* et par les *maxima* qu'amènent les grandes oscillations des périodes prolongées d'années sèches ou d'années humides *consécutives*.

Au cours de toute la période d'étude, comme plus tard pendant la période d'exécution des travaux, il y aura un précieux intérêt à noter avec soin toutes constatations faites à des moments soit de grande aridité et sécheresse, soit, au contraire, à la suite d'abondantes et brusques précipitations atmosphériques, ou encore de rapides fontes de neige. Ces deux dernières circonstances devront aussi engager le

géologue, même après la terminaison de ses études préalables, à ne pas reculer devant de nouveaux déplacements et à aborder de nouvelles études complémentaires sur place.

Souvent, en effet, de telles circonstances renseignent l'observateur attentif sur l'existence d'un appareil adventif absorbant ou circulatoire complémentaire, non décelable en temps ordinaire, et constituant un très suspect appoint temporaire au réseau normal. Les eaux d'une distribution risquent d'être ainsi contaminées, ou tout au moins troublées, par de telles venues d'eaux, plus ou moins accidentelles ou périodiques, dont il n'avait pu être tenu compte antérieurement, lors des études préalables.

On comprend que le *relevé soigneux* de ces bétouilles, aiguilleuses ou crevasses n'apparaissant, ne se désobstruant et ne fonctionnant qu'aux époques irrégulières et de courte durée DES GRANDS RUISSELLEMENTS ACCIDENTELS, doit apporter *un élément de précision et de sécurité des plus recommandables* dans l'ensemble des travaux préventifs à exécuter, ainsi que dans l'établissement rationnel des *périmètres de protection* à établir pour la sauvegarde du drainage des sources et des galeries utilisées comme venues d'eaux alimentaires.

Supposons maintenant convenablement élucidés, après exécution des études géologiques, sur le détail desquelles j'aurai encore à revenir plus loin, et après l'application de ce qui précède, les divers problèmes de géologie et d'hydrologie dynamique régionales que le géologue aura assumé la difficile mission de résoudre. Admettons que les résultats s'en soient montrés favorables.

C'est à ce moment d'élaboration du travail qu'il conviendra de compléter celui-ci et de faire la vérification des résultats géologiques par la voie des analyses chimiques et bactérioscopiques, lesquelles doivent être confiées à des spécialistes éprouvés et au courant des plus récentes méthodes (1).

Les recherches de l'analyste peuvent d'ailleurs, lorsqu'on ne vise pas à l'économie, avoir utilement accompagné, *dès le début*, les travaux du géologue, s'entendant à cet effet avec le chimiste et avec le

(1) Une source de documentation précieuse fournissant, sur les divers procédés scientifiques les plus récents, des détails et des données extrêmement utiles à consulter, se trouve dans le Rapport publié à Paris, en 1901, et intitulé : *Travaux des années 1899-1900 sur les eaux de l'Avre et de la Vanne, de la Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal de Montsouris*. Rapport général de M. Duclaux. PROCÈS-VERBAUX DE LA COMMISSION. Rapports annexes. Paris, 1901, in-4^o, 396 pages et de très nombreuses planches, plans, coupes, diagrammes, cartes, etc.

bactériologiste; elles doivent, en tous cas, être poursuivies à travers une série, *aussi prolongée que possible*, d'influences climatiques diverses et de conditions saisonnières différentes, même pendant plusieurs années, si c'est possible.

Non seulement il est indispensable de soumettre à ce contrôle *les diverses sources* de la région considérée qui, quoique voisines, peuvent parfois être très différentes comme qualité et comme degré d'élaboration souterraine de leurs eaux, mais il faut encore analyser de même toutes les eaux accessibles du réseau de circulation souterraine et à ciel ouvert que fournit la contrée. Les engouffrements et réapparitions de cours d'eau, les déversements et les venues d'eaux de carrière avec leurs fluctuations de niveau et de débit, les puits, les galeries d'exploitations minérales, les grottes elles-mêmes avec leurs cours d'eau souterrains fourniront, non moins que les *sources* du calcaire et les suintements quelconques du massif étudié, de précieux éléments d'investigation et d'appréciation, dans lesquels le concours, ou tout au moins les conseils et indications du *géologue*, continueront à rester une précieuse base conductrice.

Dans cette phase spéciale d'études chimiques et bactérioscopiques, un complément de recherches et d'expériences à l'aide de la fluorescéine et de la levure de bière pourra encore rendre de grands services, d'autant plus que l'on pourra y adjoindre l'application des belles recherches récentes de M. *Marboutin*, chef-adjoint du Service chimique de l'Observatoire municipal de Montsouris, qui, dans ses études du mouvement de propagation et de vitesse d'écoulement des eaux imprégnant un *réservoir crayeux*, c'est-à-dire dans des conditions peu favorables, est parvenu à déceler la translation souterraine, à grande distance, d'eaux imprégnées de fluorescéine diluée au *dix-milliardième* ! (1). Appliquant ce système d'observation et l'emploi du *fluoroscope Marboutin* (2) (modification de celui de M. Trillat) à l'étude des sources et des suintements des eaux du calcaire, on est

(1) F. MARBOUTIN, *Contribution à l'étude des eaux souterraines. Courbes isochromatiques*. C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXXII, 1901. Séance du 14 février 1901.

IDEM, *Une nouvelle méthode d'étude des sources*. PROCÈS-VERBAUX des séances de la Société des Ingénieurs civils de France. Séance du 15 février 1901, pp. 87-90.

(2) On peut se procurer le *fluoroscope Marboutin* et ses accessoires chez M Victor Chabaud, 58, rue Monsieur-le-Prince, à Paris. La boîte, avec montant démontable et planchette pour 12 tubes (chiffre nécessaire), coûte 35 francs; les tubes de cristal, d'un mètre de long, coûtent fr. 1.50 pièce, et les bouchons spéciaux fr. 0.25 à fr. 0.30 pièce.

Quant à la fluorescéine n° 9, la plus spécialement diluable de celles expérimentées par M. Marboutin, elle peut s'obtenir au prix de 35 francs le kilogramme à la Société

donc à même d'opérer toutes recherches de ce genre sans que l'indiscret phénomène de la coloration, *visible à l'œil nu*, vienne attirer l'attention des habitants ou éveiller leur méfiance, alors qu'à leur insu, mais pour leur plus grand bien, on se livre à une enquête approfondie sur le régime des eaux souterraines alimentant leurs sources et leurs puits.

Grâce à ce précieux critérium aussi, on ne sera plus exposé à conseiller, pour l'alimentation publique en eau potable, des sources ou des venues aquifères qui se seraient montrées suspectes par leur facilité de communication avec des eaux superficielles ou avec des causes de troubles ou de contamination, reconnues par ce procédé.

Parmi les méthodes nouvelles à recommander dans ce genre d'études, où la chimie et la microbiologie sont si étroitement unies à l'hydro-géologie, on peut encore signaler la méthode d'analyse comparative des eaux préconisée par M. Th. Schloesing, Directeur de l'École d'application des Manufactures de l'État, et qui est basée sur l'examen des courbes de relations mutuelles et d'allures saisonnières de la proportion des *nitrates* et aussi de celle des *sels calcaires* contenus dans les eaux de source ou de drainage souterrain (1).

Des études de M. Schloesing, on peut conclure qu'une source, dont le titre nitrique se maintient peu élevé, régulier et fixe au travers des influences saisonnières ou accidentelles météoriques, fournit des eaux

nationale de produits chimiques, 50, rue des Écoles, à Paris. Le type de fluorescéine, très recommandable pour les études de visibilité à l'œil nu, et qu'emploie M. Martel, est fourni par la *Société des matières colorantes de Saint-Denis*, 105, rue Lafayette, à Paris, et son prix est sensiblement moins élevé. Le pouvoir colorant de cette qualité de fluorescéine est de quarante millions de fois son poids (1 gramme pour 40 m³ d'eau) et, ainsi diluée, elle reste encore visible à l'œil nu sous une profondeur d'eau de 1 à 2 décimètres.

(1) TH. SCHLOESING, *Sur les pertes d'azote entraînées par les eaux d'infiltration*. C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXI, 1895, n° 16, pp. 525-528.

IDEM, *Sur les quantités d'acide nitrique contenues dans les eaux de la Seine et de ses principaux affluents*. C. R. Acad. Sciences de Paris, t. CXXII, 1896, n° 12, 23 mars 1896, pp. 699-703.

IDEM, *Les nitrates dans les eaux de sources*. *Ibidem*, n° 15, 13 avril 1896, pp. 824-829.

IDEM, *Les nitrates dans les eaux potables*. *Ibidem*, n° 19. Séance du 11 mai 1896, pp. 1030-1038.

IDEM, *Dosage de l'acide nitrique dans les eaux de la Seine, de l'Yonne et de la Marne pendant les dernières crues*. *Ibidem*, t. CXXIII, n° 22. Séance du 30 novembre 1896, pp. 919-923. De plus, l'ensemble des recherches exposées dans les notes qui précèdent se trouve dans un mémoire du même auteur, intitulé : *L'acide nitrique dans les eaux de rivières et de sources*, publié dans le tome VIII de la 2^e série des ANNÉES DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

bien élaborées et d'origine souterraine homogène, tandis que les variations sensibles, saisonnières, temporaires ou autres, des nitrates dénoncent des apports, soit d'eaux circulatoires souterraines localisées et peu sûres (engouffrements de cours d'eau, etc.), soit d'eaux d'infiltrations superficielles, fontes de neige, engouffrements de bétouilles, etc.

Il y a là une méthode simple et des plus fondées, permettant de déterminer, parmi un groupe de sources émergeant, par exemple, du calcaire, quelles sont celles qui ne sont que de *simples résurgences* d'eaux superficielles engouffrées souterrainement en amont, celles qui ont eu à subir des *apports partiels* d'infiltration de surface et, enfin, quelles sont les *véritables sources* dont les eaux ont subi une épuration et une élaboration souterraines suffisamment prolongées pour qu'on puisse, sans trop de craintes, les proposer comme eaux alimentaires.

Il existe encore d'autres procédés d'investigation de l'espèce, tels, par exemple, que celui que M. Martel et moi avons préconisé et qui se base sur des études comparatives saisonnières de variations de température.

D'autres critères peuvent être fournis par l'examen des variations du débit des sources, comparé à divers éléments d'ordre météorologique.

Mais ce procédé est le moins sûr de tous et ne saurait être appliqué *seul*. Il y a lieu, en effet, de tenir compte de l'influence toujours possible de certains phénomènes d'amorçage et d'écoulement de réservoirs aquifères localisés et qui sont en relation avec des dispositifs rocheux de siphonnement.

Si, à ces divers critères, on ajoute l'étude du degré de limpidité des sources, de la diversité et des variations de cette limpidité, étudiée à l'aide de tubes *ad hoc*, afin de se rendre compte, par exemple, du régime des troubles en relation avec des infiltrations superficielles, pluviales ou autres, dans les régions d'amont, ou des relations avec des engouffrements d'eau courante, on aura épuisé, semble-t-il, la nombreuse série des observations que nécessite la connaissance du mouvement des eaux souterraines.

Si cet ensemble d'études et d'expériences visant à préciser les conditions générales de l'*hydrologie dynamique* de la région ou du massif à drainer ne réclame pas le concours effectif et constant du géologue, ces opérations doivent tout au moins s'effectuer, non seulement d'accord avec lui, mais encore d'après un programme fourni par lui, basé sur les données de son enquête géologique personnelle.

Il nous reste, pour déterminer la nature de celle-ci, à compléter ce

qui a été dit précédemment au sujet des travaux du géologue et aussi à montrer quel doit être *le cadre* de cette enquête.

Mais parallèlement à cet exposé, il ne sera pas inutile d'engager le lecteur à suivre, sur la *figure 9* de la page 503, l'application des conseils qui vont suivre et dont la plupart trouvent précisément leur raison d'être et leur justification dans les éléments d'ordre géologique et hydrologique que synthétisent les tracés de cette figure 9, commentés d'ailleurs en détail dans la *Note explicative* qui suit cette figure.

L'enquête géologique, il est aisé de le comprendre, surtout en considérant la figure 9, n'aura pas été localisée seulement dans le site immédiat des points où est proposé le travail de drainage. Elle sera, bien au contraire, étendue assez loin, aura englobé la vallée considérée et les vallons adjacents; enfin, elle doit être reportée à assez grande distance sur les plateaux voisins. Elle s'attachera même à suivre, lorsque cela aura été possible, *les limites géologiques* du massif ou du bassin calcaire, surtout s'il se trouve en contact avec des roches ou avec un complexe de formations peu ou point perméables. Ces lignes de contact constituent alors *la zone de prédilection* des gouffres, bétoires et aiguigeois, ainsi que de la localisation, en poches ou en chapelets, de dépôts meubles sableux, ferrugineux et autres (1), dont le dispositif, tendant, par altération et par dissolution du calcaire, à gagner sans cesse en profondeur, facilite souvent beaucoup l'intrusion et la circulation souterraine des eaux de surface. (Voir fig. 9, en 11.)

Ce sujet d'étude, ainsi que le relevé soigneux des bétoires, aiguigeois ou chantoirs et des crevasses absorbantes, puits perdus, etc., constitue un chapitre important de l'étude hydro-géologique que doit entreprendre le géologue.

Quant aux accidents tectoniques du calcaire; disposition de ses synclinaux et anticlinaux; répartition et allures de ses failles et principales diaclases; variations de structure et de composition de ses bancs, tout cela réclame du géologue une étude attentive et plutôt *régionale* que locale. Cette étude, dans toutes ses parties, doit avoir pour but constant de mettre le géologue comme l'ingénieur à même d'apprécier le mieux possible les rapports, sans cesse variables et localisés, des divers éléments du *réseau aquifère circulatoire* du massif calcaire, avec les données complexes de sa *structure géologique*.

(1) E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT, *De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux de Condrex et de l'Ardenne, et du rôle géologique des vallées d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la haute Belgique*, BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONT. ET D'HYDROL., t. II, 1888. PROCÈS-VERBAUX, pp. 9-25.

Les coupes naturelles du massif calcaire dans les vallées, les tranchées de routes et de chemin de fer, les parois des tunnels, les grottes et cavernes, les points d'engouffrement et de réapparition des eaux courantes, les échantillons des puits, des forages et même des déblais pour fondations de maisons et d'édifices, en un mot toutes les formes possibles d'accession et d'étude à l'intérieur du massif calcaire, ou au besoin de massifs voisins analogues, en cas d'insuffisance de données locales, doivent contribuer à l'enquête géologique et faire l'objet d'investigations spéciales.

Le géologue s'attachera particulièrement, dans ses recherches sur la *structure interne* des massifs calcaires qu'il a à étudier, à se faire une idée aussi exacte que possible du caractère d'ensemble ou *régional* des fentes, cassures, joints et cavités de la roche calcaire, au point de vue de la disposition et du développement *des matières de remplissage éventuel des crevasses et des joints de la roche calcaire*. Ceci lui permettra d'apprécier le degré d'importance, d'extension ou de localisation des zones où se fait un certain *colmatage* au sein des diaclases du calcaire.

Il est aisé de comprendre que des notions aussi précises que possible sur la présence, sur le développement et sur la disposition de ces *filtres internes* des massifs calcaires peuvent être d'une grande utilité, par leur mise en regard, par exemple, avec un résultat favorable des analyses chimiques ou bactérioscopiques. Une telle concordance est appelée à fournir une opinion *motivée* sur le degré d'élaboration et de filtrage souterrain des eaux circulant dans un massif calcaire drainé pour les usages alimentaires.

Ce filtrage, possible parfois dans une certaine mesure, à l'intérieur des parties basses des massifs calcaires, peut aussi s'opérer *au dehors de ceux-ci* et avant que les eaux ne s'y infiltrent. Aussi y a-t-il lieu, pour le géologue, d'examiner avec soin la présence, le développement, la nature et les LACUNES de *tout manteau meuble protecteur* recouvrant les plateaux calcaires (voir fig. 9 en *m m'*) et donnant lieu à un certain degré de filtration générale des eaux *avant* leur descente dans les profondeurs du massif calcaire fissuré. C'est surtout quand de tels filtres naturels existent, pouvant donner lieu à un sentiment de sécurité relative, qu'il convient d'étudier avec soin les localisations de points faibles du manteau protecteur (voir même figure, en 1, sur le plateau gauche), ainsi que les points spéciaux et exceptionnels d'engouffrement direct, créés par les *bétoires* ou *aiguigeois*.

L'exposé détaillé qui vient d'être fait, et qui cependant n'a nullement

la prétention d'être complet, pourra, à première vue, paraître défendre un programme quelque peu compliqué et chargé d'exigences trop accentuées.

Il n'en est rien cependant, si l'on veut bien se souvenir qu'il s'applique essentiellement aux massifs calcaires rocheux *plissés, disloqués et redressés*, tels que nos calcaires primaires devoniens et carbonifères. Les eaux abondantes autant que « douteuses » de ces calcaires anciens, tout en restant attractives, à première vue, par leur fraîcheur et par leur trompeuse limpidité, constituent pour l'alimentation de nos populations un danger dont bien peu se rendent compte. C'est donc *un véritable devoir* que de montrer, pour des cas pareils, de quelles minutieuses garanties il faut s'entourer avant de se décider à les employer.

Mais tous les calcaires, soit primaires, soit surtout d'âge secondaire, ne se trouvent pas dans ces conditions structurales si complexes et si défavorables. Il en est qui sont disposés, sur d'énormes espaces, en bancs réguliers et continus, ou à peine faillés et en alternance avec des couches imperméables, marneuses ou argileuses : tels sont les calcaires jurassiques formant la ceinture du bassin crétacé et tertiaire parisien. D'autres présentent des caractères mixtes, avec des variations structurales locales ou régionales. Toujours leur régime aquifère se montrera en étroite connexion avec ces données géologiques et variera à l'infini dans ses détails.

C'est assez dire que l'application intégrale du programme scientifique détaillé, qui vient d'être exposé, *n'est nullement toujours exigible*. Mais c'est encore une fois au GÉOLOGUE qu'il faut laisser la responsabilité de limiter alors ce programme à certains éléments essentiels et à certains détails qu'il jugera indispensables. Qui oserait nier, après l'exposé qui vient d'être fait, que le géologue est bien mieux à même que l'ingénieur de se rendre compte, dans ce vaste programme d'études, de ce qui est *nécessaire*, de ce qui est *utile* et de ce qui pourrait être *superflu*, et lui surtout pourra faire englober dans l'enquête scientifique, non seulement ce qui est indispensable pour assurer un rendement suffisant d'eau de bonne qualité, mais encore pour obtenir, au point de vue de la persistance de ces données favorables, de sérieuses *garanties de sécurité* pour l'AVENIR.

C'est lui aussi qui aura à fournir l'indication des mesures de précautions à prendre, des extensions et de la délimitation des *zones éventuelles de protection*, etc., du moins dans les cas scabreux et

difficiles du drainage des calcaires rocheux, qui sont surtout visés ici.

La tâche principale de l'ingénieur commencera ensuite, basée alors sur les données précises et sûres que lui aura fourni l'enquête scientifique préalable. C'est ainsi armé, et *dans ces conditions seulement*, qu'il lui sera raisonnablement permis de dire que « pour recueillir une eau pure », il y aura à installer tel ou tel dispositif, à creuser telle ou telle galerie, à faire tous travaux quelconques qui, bien entendu, seront basés sur les résultats et données de l'enquête scientifique préalable.

L'ingénieur ne devra cependant pas perdre de vue qu'il aura rarement à sa disposition, surtout dans les massifs calcaires dont il est ici question, des eaux idéales ou même de qualités absolument constantes et fixes, comme celles de la plupart des drainages en terrains meubles. Certes il obtiendra parfois, en terrain rocheux calcaire, des eaux abondantes et de bel aspect, constituant des ressources acceptables comme garanties et comme sécurité ; mais cette sécurité ne pourra être considérée comme suffisante qu'à cette double condition : que l'enquête scientifique préalable ait été bien conduite et qu'un *contrôle chimique et bactériologique* sérieux, périodique et *fréquent*, ou de préférence *permanent*, soit institué pendant toute la durée d'utilisation alimentaire des eaux drainées.

Quant aux consommateurs de ces eaux drainées ou captées dans les calcaires, ils seront en droit de réclamer, comme une condition *indispensable* de leur sécurité, le bon fonctionnement d'un tel contrôle permanent, indépendant et libre de toute entrave ou de considérations d'ordre financier ou administratif. Ils pourront aussi réclamer l'adoption, dans la région du captage des eaux ou des sources du calcaire, de dispositifs spéciaux permettant d'*isoler* et d'*éliminer à volonté* de la distribution telle ou telle source ou venue d'eau dont l'analyse chimique ou bactérioscopique viendrait à déceler, quelque jour, après constatations et enquêtes spéciales, l'altération ou la pollution, *toujours possibles* dans le type de terrains aquifères faisant l'objet du présent exposé.

Arrivé au bout de ma tâche et à la fin d'un exposé bien long, hélas, que j'ai surtout entrepris parce qu'il me semblait constituer un *devoir*, j'éprouverais un réel scrupule si ma polémique avec M. l'ingénieur Verstraeten avait surtout servi, comme d'aucuns auraient pu éventuellement le croire, à me permettre de développer à loisir mes vues personnelles sur le régime aquifère des calcaires.

En réalité, il n'en est rien, et je me plais à croire que les lecteurs m'ayant suivi jusqu'ici seront de cet avis. Je crois, d'une part, avoir réussi à accumuler, dans le présent *Dossier hydrologique du régime aquifère des calcaires*, une somme considérable de matériaux, de citations précises, en même temps qu'un bon nombre de faits soit nouveaux, soit peu connus, qui permettront d'accorder quelque utilité aux peines que je me suis données.

Je crois, d'autre part, être surtout arrivé à démontrer péremptoirement, à ceux qui auraient pu en douter encore, que le régime aquifère des calcaires, très variable d'après les conditions géologiques, constitue pour ainsi dire un ordre de faits et de phénomènes n'ayant aucun rapport avec les lois et les phénomènes de l'hydrologie des dépôts meubles aquifères et homogènes. J'ai, enfin, largement justifié mon programme de 1890 d'étude rationnelle des projets de captation ou de drainage en terrain calcaire, et je l'ai amplifié et commenté, le soumettant aux intéressés en leur montrant les redoutables écueils de l'utilisation de l'eau des calcaires, surtout des calcaires rocheux plissés et redressés.

J'ai pu légitimement me réjouir de la sanction, récemment donnée à ma thèse de 1890, par les pouvoirs publics en France, qui ont décrété comme obligatoire l'enquête scientifique préalable, en donnant spécialement le pas à la GÉOLOGIE.

J'ai surtout la vive satisfaction de n'être pas le seul à me réjouir de ce succès, car — et c'est là où je veux en venir pour justifier quelque peu la longueur de mon exposé — ce ne sont pas seulement mes vues personnelles que j'ai ici exposées au cours de ce travail, mais les vues communes à un très important groupe de géologues, tant belges qu'étrangers, ainsi qu'à de nombreux spécialistes, ingénieurs et autres, qui ont, sur le régime aquifère des calcaires, des notions bien différentes des théories défendues par M. l'ingénieur Verstraeten.

Et ce n'est pas seulement dans les domaines courants de la science et de la technique pratique que sont partagées et défendues les idées dont je me suis fait le défenseur. Ce n'est pas seulement dans les nombreux traités, mémoires et livres des spécialistes éminents, des « maîtres de la science » dont j'ai fourni, cette fois encore, des extraits multiples autant que significatifs.

C'est au cœur même de l'enseignement universitaire et classique de l'une de nos plus brillantes Facultés des sciences, qu'il m'a été permis de trouver, contre la thèse de M. Verstraeten, un appui montrant

combien le présent travail est peu « personnel » dans les vues qu'il expose.

Je suis, en effet, dûment autorisé à déclarer que M. *Max Lohest*, dans son cours de *géologie appliquée* de la Faculté technique de l'Université de Liège, professe, depuis dix ans, une manière de voir, sur l'hydrologie et sur le régime aquifère des calcaires, analogue à la mienne et *en opposition complète avec la théorie de M. Verstraeten*. Si, à l'appui de cette affirmation, je n'ai pas reproduit, au cours de ce travail, de nombreux extraits du cours de M. Lohest, c'est parce que le savant professeur de Liège compte en fournir lui-même, prochainement, l'*exposé complet* à la Société géologique de Belgique.

M. Verstraeten voudra bien, sans doute, accorder quelque valeur à l'argument que je lui apporte ici, au sujet du bien fondé de la version exposée et défendue par moi des « principes qui doivent servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires ». Il devra bien reconnaître aussi que pour ce qui concerne l'application de tels principes au drainage des massifs calcaires, il reste actuellement bien isolé, bien en dehors de l'*universel accord* dont tout le présent travail est la presque constante expression.

Lorsqu'on voit l'honorable Ingénieur se cantonner si obstinément à côté des notions précises et sûrement acquises aujourd'hui, par suite du progrès incessant de nos connaissances; lorsqu'on le voit défendre les hérésies que l'on sait sur l'hydrologie des calcaires, on ne peut se défendre de croire qu'il en est toujours resté, en cette matière spéciale du moins, à l'époque, déjà lointaine (1882), où il disait comme *conclusion* de son étude sur les eaux alimentaires de la Belgique (1) : *Voilà donc, en substance, à quoi se réduit notre hydrologie; pas de données positives, le doute enveloppant la plupart d'entre elles, et comme lien la complaisante hypothèse.*

S'il en était peut-être ainsi, en effet, en 1882, il n'en est plus de même aujourd'hui, à l'aurore du XX^e siècle!

L'exposé détaillé et si documenté fourni par le présent *Dossier hydrologique* l'aura prouvé surabondamment, je l'espère.

Les services nombreux et féconds rendus à l'humanité, grâce aux progrès incessants de la Science pure, par sa fille la Science appliquée, dans les multiples domaines de son rayonnement, montrent les liens étroits de ces deux éléments.

(1) TH. VERSTRAETEN. *Les eaux alimentaires de Belgique*, 2 fascicules in-8°, Bruxelles, 1883. Baertsoen. — Voir 2^e partie : Hydrologie, p. 196, § 5.

De même, les progrès de l'*hydrologie souterraine* constituent un corollaire tout naturel de l'avancement de nos connaissances en matière de *géologie* et de *spéléologie*, et si actuellement, loin d'être encore enveloppée « de doutes et d'hypothèses », l'Hydrologie appliquée a laissé, pour le plus grand bien des populations, pénétrer ses mystères d'autrefois, c'est exclusivement aux progrès de la Géologie et de la Spéléologie qu'elle le doit, et c'est aux spécialistes représentant ces deux sciences, et notamment aux *géologues*, qu'il appartient, avant et mieux qu'à tout autre, d'en résoudre les problèmes et d'en faire connaître aux profanes les apparents mystères.

Bruxelles, mars 1901.



TABLE DÉTAILLÉE DES MATIÈRES (1)

LE DOSSIER HYDROLOGIQUE AQUIFÈRE EN TERRAINS CALCAIRES ET LE RÔLE DE LA GÉOLOGIE DANS LES RECHERCHES ET ÉTUDES DES TRAVAUX D'EAUX ALIMENTAIRES

578

Exposé historique des circonstances ayant amené la rédaction du travail	378 § 1
But et contenu de cette étude	380 § 4
<i>Première observation</i> au sujet de la base de certaines des critiques de M. Verstraeten	382 § 3
<i>Deuxième observation</i> : A propos du rôle et des travaux d'André et de Gustave Dumont, au sujet des galeries alimentaires de Liège.	383 § 4
<i>Troisième observation</i> : Analyse du mode de discussion suivi par M. Verstraeten (has de la page)	386

DE L'EMPLOI, EN HYDROLOGIE, DE L'EXPRESSION DE « NAPPE AQUIFÈRE ». (588)

A. — *Opinion des géologues* (588)

Citations extraites de <i>Daubrée</i> : Les eaux souterraines à l'époque actuelle	388 § 5
---	---------

(1) Dans le but de guider le lecteur dans l'accumulation de faits, de documents et de controverses réunis dans le « DOSSIER HYDROLOGIQUE », cette table détaillée des matières, fournit, par des *différences typographiques* dans les chiffres de la pagination, un **mode de classement** s'adjoignant aux détails de la table, pour faciliter les recherches.

Les *chiffres ordinaires* : 369, indiquent la partie du texte spécialement destinée à réfuter certaines erreurs d'interprétation de l'exposé de M. Verstraeten, à dissiper des malentendus sur lesquels sont basées certaines de ses critiques de 1897 : en un mot, à la partie spécialement polémique et contradictoire de mon travail. Les chiffres imprimés en *caractères italiques* : 396, indiquent les passages ayant pour but d'opposer aux vues de M. Verstraeten les *textes* de divers auteurs classiques : géologues, ingénieurs et spécialistes divers, et de montrer combien ces textes sont d'accord avec les vues défendues par moi. Les chiffres en *caractères gras* : 639, indiquent les passages du *Dossier hydrologique* où l'on trouve principalement des données d'intérêt général, et dans lesquelles la discussion des idées de M. Verstraeten n'intervient plus que comme l'occasion d'entamer les divers problèmes scientifiques abordés. Dans les passages ainsi désignés, on trouvera un certain nombre de faits soit nouveaux et inédits, soit peu connus, utiles pour la mise au point des vues générales défendues dans le présent travail.

Enfin, les chiffres imprimés en *caractères allongés* : 693, se rapportent aux subdivisions de l'exposé, soit représentées par des *titres*, *sous-titres* et *rubriques* du texte représenté en regard de ces chiffres dans la table, soit non fournis dans le texte par de telles rubriques spéciales. Dans ce dernier cas, lesdits chiffres sont indiqués entre parenthèses (936).

Citations extraites de <i>J. Gosselet</i> : Leçons sur les nappes aquifères du Nord de la France.	389 § 2
Citations extraites de <i>Credner</i> : Traité de Géologie et de Paléontologie.	389 § 6
— <i>A. De Lapparent</i> : Traité de Géologie, 4 ^e édition.	389 § 10
— <i>P. Choffut</i> : Les eaux souterraines et les sources en Portugal.	390 § 5
B. — Opinion des ingénieurs, techniciens et hydrologues professionnels	(391)
Citations extraites de <i>J.-A. Pierrot</i> : Études hydrologiques et géologiques sur le bassin de la Meuse	391 § 4
Citations extraites de <i>Éd. Imbeaux</i> : Les eaux potables, etc., en Meurthe-et-Moselle.	391 § 10
Citations extraites de <i>Villain</i> (Notice insérée dans le travail précédent).	392 § 2
— <i>Durand-Claye</i> : Leçons d'hydraulique agricole et de génie rural	392 § 9
Citations extraites de <i>Henry Boursault</i> : Recherches des eaux potables et industrielles	393 § 12
Motifs pour admettre parfois, avec M. Boursault, contrairement à l'avis de M. E.-A. Martel, l'application de l'expression <i>nappes aquifères</i> aux eaux de certaines dispositions des calcaires rocheux aussi bien qu'à celles des dépôts meubles (note 1 au bas de la page)	393
L'opinion des hommes de lettres, d'accord avec celle des géologues et hydrologues, au sujet de la signification qu'il faut attribuer à l'expression : <i>nappes aquifères</i>	394 § 4
Les divergences existant entre M. Martel et M. Verstraeten au sujet des motifs préconisés par eux pour rejeter l'expression : <i>nappes aquifères</i>	394 § 6
Discussion d'une question de fond avec M. Verstraeten au sujet du régime aquifère des calcaires	(395)
Le régime aquifère des massifs calcaires fissurés et leur « dispositif circulatoire localisé ». Études contradictoires (figures 1 et 2).	395 § 5
La question de l'empiétement des bassins alimentaires souterrains en massifs rocheux calcaires.	401 § 3
NOTES SUR LE RÉGIME AQUIFÈRE DES TERRAINS CALCAIRES	403
Division du sujet en quatre chapitres	(405)
I. — Hydrologie des terrains rocheux calcaires	403
Le délitement dans les calcaires et celui des schistes (bas de la page).	403
De l'extension verticale, dans les calcaires, des joints, diaclases et de leur soudure à minime profondeur, d'après M. Éd. Dupont.	404 § 5
Répartition et développement des cavités, grottes et cavernes suivant la nature lithologique des terrains.	405 § 3
Utilisation des eaux d'infiltration des schistes et des quartzo-schisteux, surtout pour les puits domestiques et agricoles.	406 § 5
Réponse aux critiques de M. Verstraeten au sujet de la perméabilité du massif houiller traversé par les galeries alimentaires de Liège	407 § 10

Motifs des caractères particuliers du régime aquifère des terrains calcaires et de l'impossibilité d'unifier ce régime avec celui des dépôts meubles	408 § 2
Opinion et textes de M. E.-A. Martel à ce sujet	408 § 4
— de M. Schloesing (<i>Comptes rendus, Acad. des sciences</i>)	407 § 5
Synthèse de M. Martel sur le régime aquifère des calcaires (extrait du traité : la <i>Spéléologie</i>)	409 § 8
Rappel des dispositions spéciales qui, dans certains bassins calcaires belges, permettent un correctif à la thèse trop absolue de l'absence de vraies nappes dans les calcaires	409 § 9
Opinion et textes de M. Stainier : Allure des nappes aquifères, etc.	409 § 11
La thèse de l'existence d'une couche aquifère générale dans les calcaires, appliquée par M. Verstraeten à la région de Tournai (fig. 3)	410 § 2
Faits inédits constatés dans cette région et contournant la thèse de M. Verstraeten.	411 § 2
Détails sur le puits de l'Hospice civil, à Tournai (note 1 de la page)	411
Détails inédits sur le puits de l'Asile des aliénés, à Tournai	412 § 2
Preuves, à Tournai, de l'existence du « régime circulatoire localisé » et de l'absence d'une nappe aquifère générale et profonde, contrairement aux vues de M. Verstraeten	413 § 2
Faits confirmatifs, en ce qui concerne la localisation des eaux dans les calcaires; exemples fournis par M. J. Gosselet dans ses Leçons sur les nappes aquifères.	415 § 5
Rappel des cas spéciaux, s'offrant en Belgique et permettant d'admettre, dans une certaine mesure, l'existence, dans les calcaires, de nappes aquifères analogues à celles des dépôts meubles	416 § 6
Étude critique de l'exposé fait par M. Verstraeten, comme application de ses vues sur le régime aquifère des calcaires horizontaux de Tournai, dans sa brochure de 1888, intitulée : La question des eaux de Tournai	417 § 4
Interprétation défavorable, sous les lumières de la Géologie, des conclusions optimistes de M. Verstraeten, et exposé du motif réel des « singularités » décrites par lui	420 § 1
L'existence du régime circulatoire localisé, inconsciemment constatée en 1888 par M. Verstraeten	421 § 4
Conclusions intéressantes à noter au sujet du régime aquifère des calcaires	425 § 3
II. — Hydrologie de la craie	425
A propos de l'existence de prétendues cavernes dans la craie de Belgique	423 § 6
Les <i>taves</i> de la Craie sénonienne du Haut-Geer.	424 § 6
Eaux artésiennes produites par l'action des <i>taves</i>	426 § 4
Solidité des parois crayeuses dans les puits, caves, etc., de la craie.	426 § 5
Détails sur les galeries creusées dans la craie à Spiennes par nos ancêtres de l'époque néolithique	427 § 1
Le <i>trou des Sarrasins</i> à Ciply (Hainaut)	427 § 2
Les trous des Nutons de la craie de Hesbaye à Avennes, Meffe et Braives	428 § 2
La mort dramatique d'un mineur préhistorique à Obourg	429 § 1

Motifs pour lesquels les cavités creusées par <i>voie chimique</i> dans la craie doivent être plus stables et plus résistantes à l'éboulement que les cavités <i>artificielles</i>	429 § 3
Mise au point de la définition du dispositif des cavités aquifères naturelles de la craie	430 § 2
Rectification apportée à un texte de 1887, dans lequel MM. Van den Broeck et Rutot attribuaient erronément, à un niveau de base de la craie sénonienne de Hesbaye, l'existence des eaux artésiennes localisées fournies, en réalité, par l'action des <i>tawes</i>	430 § 10
La définition des eaux artésiennes, d'après M. le professeur J. Gosselet.	431 § 4
Remplacement, proposé par M. L. Janet, du nom de <i>nappe artésienne</i> par celui de <i>nappe ascendante</i> , ou par le nom de <i>nappe captive</i> , proposé par M. Boursault	431 § 5
Conclusions fournies par les deux premiers chapitres de l'annexe	452
Importance de la diversité des conditions géologiques et de son rôle .	432 § 2
Détails sur le régime aquifère de la craie du bassin de Londres (note 1)	433
III. — Les régions calcaires de Han-Rochefort et celles du Bocq et du Hoyoux, par rapport à l'opinion des « maîtres de la science » sur le régime aquifère des calcaires. — Arguments supplémentaires fournis par la région de Remouchamps	454
Motif de la réponse ici fournie à la partie critique de l'exposé de M. Verstraeten, non reproduite par lui dans le <i>Bulletin</i> de la Société.	434 § 3
<i>Phrase synthétique</i> à laquelle peut se réduire toute l'argumentation de M. Verstraeten	434 § 3
Signification des données hydrologiques fournies par la région de Han-Rochefort et rappel des travaux de MM. Dupont et Willems à ce sujet.	435 § 5
Le prétendu désaccord, d'après M. Verstraeten, des géologues belges sur les principes de l'hydrologie des calcaires rocheux	436 § 2
En quoi consistent les critiques formulées par M. Verstraeten au sujet des exposés qui ont été faits du régime hydrologique des bassins du Bocq et du Hoyoux	437 § 1
La question du débit des sources en massifs calcaires appliquée, par M. Verstraeten, aux résultats « exceptionnels » des jaugeages des sources du Bocq et du Hoyoux	438 § 3
L'explication du phénomène, si déconcertant pour M. Verstraeten . .	439 § 4
Ce qu'il ne peut s'empêcher de reconnaître, en présence des faits . . .	441 § 1
Les véritables facteurs influant sur le débit des sources du calcaire (voir aussi les notes 1 et 2 de cette même page).	441 § 5
L'argument des nivellements de nappes aquifères invoqué par M. Verstraeten pour soutenir sa thèse d'unification des régions aquifères .	442 § 2
Ce que montrent, au contraire, ces nivellements aquifères dans les massifs calcaires	442 § 4
Différenciations justifiées, signalées par M. Walin, entre le régime aquifère, la disposition et le développement des cavités et des grottes du calcaire <i>devonien</i> belge et ceux observés dans nos calcaires <i>carbonifères</i>	443 § 2

L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES DE LA RÉGION DE REMOUCHAMPS	445
La vallée sèche du nord de Remouchamps, ou <i>vallon des Chantoirs</i> , et les phénomènes de disparition de cours d'eau qu'elle présente (fig. 4).	443 § 4
But de la coupe géologique transversale (fig. 5) de la partie centrale du vallon des Chantoirs.	445 § 7
Exposé du détail, d'ordre purement stratigraphique, non représenté dans la coupe.	446 § 2
<i>Légende détaillée de la figure 5, représentant la coupe transversale du vallon des Chantoirs.</i>	<i>447</i>
Explication des tracés et des inscriptions de la figure	447 § 3
Disposition générale du calcaire givetien dans les bassins de Dinant et de Namur.	449 § 2
Ce que deviennent les ruisseaux tributaires du vallon des Chantoirs et régime aquifère souterrain de la vallée sèche étudiée	449 § 5
Localisation des différentes zones de corrosion et de circulation souterraine dans les diverses parties du massif calcaire.	450 § 2
<i>Régime hydrologique du calcaire givetien, étudié dans le vallon des Chantoirs, à Remouchamps.</i>	<i>451</i>
Étude détaillée des zones A à D figurées sur la coupe (fig. 5)	451 § 3
Les effets, dans le vallon des Chantoirs, de la trombe du 17 mai 1859.	453 § 4
Les analogies, simplement apparentes, du régime aquifère établi sous le vallon des Chantoirs avec celui des calcaires en cuvettes du Condroz	454 § 1
Différences accentuées entre le régime aquifère des calcaires devoniens, celui des calcaires rocheux horizontaux et celui des bassins calcaires en cuvette	454 § 4
Multiplicité des facteurs influant sur la différenciation des caractères régionaux ou locaux du régime aquifère des calcaires.	455 § 2
IV. — Le rôle de la géologie dans les recherches et dans les travaux d'hydrologie appliquée, spécialement dans l'étude des ressources aquifères des terrains calcaires.	456
Rappel de la thèse de M. Verstraeten interprétant mon programme de 1890 sur le rôle du géologue comme une intrusion non justifiée dans les travaux de l'ingénieur	456 § 2
Utilité qu'offre la rectification de ces vues erronées de M. Verstraeten.	456 § 10
Accord de la thèse défendue dans le présent travail avec les vues des autorités scientifiques et techniques les plus incontestées'	457 § 3
La brochure jubilaire de la Société belge de géologie : <i>A quoi peut servir une Société de géologie, etc.</i>	457 § 5
Rappel des critiques qu'elle renferme au sujet de la manière dont sont parfois élaborés, sans base justifiée ni études scientifiques préalables, les projets de drainage alimentaire et de captation d'eaux souterraines	458 § 4
La critique de M. Verstraeten au sujet de certains passages de la brochure jubilaire de M. Hans.	459 § 2

Reproduction, pour rappel, de mon programme d'études de 1890, proposé pour l'élaboration de projets de drainage ou de captation d'eau	459 § 5
La genèse habituelle, en Belgique, de l'étude et de l'élaboration d'un projet de distribution d'eau	460 § 6
La géologie et ses lumières trop souvent consultées <i>après coup</i> : inconvénients graves de ce système regrettable	461 § 3
Les bases de la critique de M. Verstraeten : absence d'arguments justifiés, rôle prépondérant des malentendus	462 § 6
Comment M. Verstraeten arrive à trouver que le concours des lumières de la Géologie lui fournit deux « marches rationnelles, diamétralement opposées », récusées par lui pour ce motif	463 § 2
Exposé de M. Verstraeten de la « vieille marche » préconisée par lui pour l'élaboration d'une question de distribution d'eau	463 § 3
Discussion de ces vues et mise en relief, contradictoire, du rôle du géologue	464 § 6
Les aveux de M. Verstraeten. La « vieille marche » n'est pas une marche triomphale!	465 § 4
Conclusion de l'exposé ayant rencontré la critique de M. Verstraeten	466 § 2
 <i>Aperçu historique des travaux de drainage alimentaire de la ville de Bruxelles</i>	
	466
 Extraits de textes de M. l'ingénieur E. Putzeys, tirés de ses <i>Études sur les vallées de l'Ourthe, du Hoyoux et du Bocq</i> , et traitant du rôle du géologue dans l'étude préalable des projets de distribution d'eau.	
	466 § 7
Conclusion du rapport réclamé, en 1889, par la ville de Bruxelles à MM. Rutot et Van den Broeck, au sujet de projets d'extension de sa distribution d'eau	
	468 § 2
Conclusion d'un second rapport des mêmes auteurs, présenté en 1892 et mise en lumière, par M. l'ingénieur Putzeys, de l'utilité de ces études géologiques.	
	469 § 2
Rôle utilitaire de la <i>Commission scientifique</i> de 1870 ayant eu à apprécier le projet de drainage du Bois de la Cambre, préconisé par M. Verstraeten	
	470 § 4
Contrôle géologique permanent ayant, en fait, existé pendant toute la phase d'exécution et d'extension de la distribution d'eaux potables à Bruxelles	
	471 § 3
 <i>Série d'extraits d'auteurs ayant mis en relief le rôle important de la géologie dans les travaux d'eaux alimentaires</i> (471)	
 Citations extraites de X. Stainier : Allures des nappes aquifères au contact des terrains primaires	
	471 § 5
Citations extraites de P. Choffat : Étude géologique du tunnel de Rocio, à Lisbonne	
	472 § 2
Citations extraites de L. De Launay : Géologie pratique (Paris 1900)	
	472 § 7
— de H. Boursault : Recherches des eaux potables et industrielles (Paris 1899)	
	473 § 6
Citations extraites de Léon Janet : Conférence de géologie appliquée sur le captage des eaux et la protection des sources d'eaux potables.	
	474 § 7

Citations extraites du Rapport à M. le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, sur l'instruction des projets de captage et d'adduction d'eaux, sur le droit d'usage, l'acquisition et la protection des sources (Rapporteur M. H. Monod, conseiller d'État).	475 § 5
L'étude géologique préliminaire de tout projet de distribution d'eau confiée dorénavant, en France, aux géologues du Service de la Carte géologique	476 § 2
Texte de la Circulaire ministérielle envoyée par le Président du Conseil, Ministre de l'Intérieur et des Cultes, aux préfets de France, leur faisant connaître la nouvelle instruction à suivre pour l'élaboration des projets de distribution d'eau	477 § 4
Reproduction, pour rappel et comparaison, du texte de mon programme, de 1890.	482 § 3

NOTES ADDITIONNELLES SUR L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES ROCHEUX.

483

Note additionnelle n° 1. — Les ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux, par opposition à celles des calcaires

483

Éclaircissements au sujet de la thèse défendue par M. Éd. Dupont, à propos des ressources aquifères des terrains rocheux non calcaires

483 § 2

Cette thèse s'applique au terrain quartzo-schisteux en général et non au schiste en particulier

484 § 1

L'hydrologie d'une région typique du Condroz, d'après M. Éd. Dupont (feuillé de Clavier).

484 § 6

Ressources aquifères des terrains quartzo-schisteux, d'après M. le professeur J. Gosselet.

485 § 6

Distributions d'eaux alimentaires basées, en Belgique, sur le drainage souterrain des terrains quartzo-schisteux

486 § 2

LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU CONDROZ, PAR M. LE PROF. X. STAINIER. 486

Exposé extrait de la Monographie agricole du Condroz, par M. Stainier. 486 § 4

Note additionnelle n° 2. — I. Le dispositif des « serrements » appliqué aux terrains aquifères meubles et dans les terrains calcaires fissurés.

487

La critique, non encore rencontrée, de M. Verstraeten, au sujet de l'emploi des « serrements ».

487 § 8

L'opinion de M. l'ingénieur Putzeys au sujet de l'opportunité des serrements en terrains aquifères meubles et de leurs inconvénients en terrains rocheux calcaires.

488 § 3

Critiques soulevées à ce sujet par M. l'ingénieur Th. Verstraeten

488 § 6

Motifs, d'ordre personnel, du peu de confiance qu'a M. Verstraeten dans l'efficacité des serrements établis en dépôts aquifères meubles. 489 § 4

Précieux avantages techniques et économiques des serrements établis par M. E. Putzeys, dans la nappe aquifère des sables aquifères bruxelliens, alimentant les galeries drainantes de Bruxelles

489 § 5

Raisons s'opposant à l'application, préconisée par M. Verstraeten, des serrements dans les massifs rocheux calcaires. Inconvénients divers qu'ils y présentent.	491 § 2
L'établissement des serrements est toutefois admissible et justifié dans certains cas de calcaires réguliers et restés plus ou moins horizontaux, tels que les calcaires jurassiques de la Lorraine (Études de M. Imbeaux)	492 § 6
Différences <i>essentiels</i> existant entre le type des fissures et de leurs dimensions, le mode d'attaque de la roche et ses résidus, dans les <i>calcaires</i> et dans les <i>grès</i> . Influence de ces éléments au point de vue du degré de filtration des eaux circulant dans ces types rocheux différents.	494 § 2
Moyens pratiques de remédier à l'inconvénient des décompositions pyriteuses et autres, s'opérant dans les galeries drainantes des terrains quarzo-schisteux.	494 § 3
 II. Ce que vaut la base d'appréciation du chiffre de rendement des sources et des galeries drainantes à l'hectare-jour, dans le cas des terrains rocheux calcaires, plissés et redressés	
	495
Résumé des critiques soulevées par M. Verstraeten, au sujet du débit des sources du Parc de Modave, et des chiffres de leur rendement à l'hectare-jour.	495 § 2
Solution, exposée depuis 1890, des soi-disant anomalies et forts débits constatés; rôle de l'empiétement souterrain des bassins d'alimentation dans les massifs calcaires	496 § 2
Appui fourni à la thèse de l'empiétement souterrain, par l'enseignement donné au Cours de géologie appliquée à la Faculté technique de l'Université de Liège.	496 § 4
Jaugeages par déversement et jaugeages par empotement. Réponse de M. Forir aux critiques de M. Verstraeten	497 § 8
Impossibilité d'appliquer rationnellement aux massifs rocheux fissurés les formules du rendement des sources et des galeries alimentaires à l'hectare-jour	498 § 2
Objection soulevée par M. Forir à l'emploi de l'expression, préconisée par M. Verstraeten, de « couche aquifère » à employer en remplacement de « nappe aquifère » (Note 1)	498
 Note additionnelle n° 3. — QUELQUES OBSERVATIONS SUPPLÉMENTAIRES SUR L'HYDROLOGIE DES CALCAIRES ROCHEUX SUGGÉRÉES PAR LES DERNIERS EXPOSÉS DE M. L'INGÉNIEUR TH. VERSTRAETEN	
	499
 I. A propos des zones « passive, active et mobile » de M. Verstraeten (1898) dans le dispositif du régime hydrologique des roches calcaires.	
	499
Distinction, proposée en 1898 par M. Verstraeten, pour les éléments du réservoir aquifère des calcaires en <i>couche passive</i> , en <i>couche active</i> et en <i>couche mobile</i>	499 § 3

Correspondance de ces termes avec les éléments, définis en 1895 par MM. Rutot et Van den Broeck, de leur conception du régime aquifère des calcaires	500 § 2
Légende détaillée de la figure 8, fournissant les grandes lignes du dispositif du régime aquifère des eaux imprégnant un massif calcaire fissuré, recoupé par une vallée drainante	501 § 2
Établissement d'une zone spéciale supérieure à distinguer dans la zone inférieure passive, ou du régime statique, sous-jacent au thalweg des vallées calcaires	502 § 4
Établissement d'un diagramme s'appliquant aux multiples cas à considérer dans le régime aquifère d'un bassin calcaire du type synclinal condrusien (fig. 9)	503
<i>Légende détaillée de la figure 9 et Notice explicative consacrée aux divers éléments représentés</i>	<i>504</i>
Explication des éléments figurés et des lettres de la coupe	504 § 1
Illustration, par les tracés de la figure 9, des trois éléments principaux du dispositif aquifère, en massif rocheux calcaire, et indication de quelques-uns des divers cas représentés dans le schéma.	505 § 2
Exposé synthétique des diverses zones constituant la réserve aquifère du massif rocheux calcaire représenté par la figure 9	508 § 6
Possibilité, d'après M. Verstraeten, de la formation de grottes et de cavernes sous le niveau du thalweg de certaines vallées rocheuses calcaires (fig. 10)	509 § 3
Exposé d'une thèse expliquant différemment la formation de cavernes ainsi situées	510 § 2
Légende détaillée de la figure 10 : diagramme montrant, d'après M. Verstraeten, les diverses situations des grottes et cavernes par rapport au régime aquifère d'un bassin calcaire.	510 § 3
II. — Notes complémentaires sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai	
Le dernier exposé de M. Verstraeten, à Liège, en avril 1900, sur l'hydrologie des terrains rocheux.	511 § 2
Les vues actuelles de M. Verstraeten sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai (fig. 41, p. 512)	512 § 4
Le point faible du nouvel exposé et des conseils pratiques de M. Verstraeten	513 § 6
Dossier des faits et des constatations de M. Duraffour, foreur de puits artésiens, à Tournai, montrant l'inexactitude des vues de M. Verstraeten	514 § 1
Curieuses constatations faites par M. Duraffour à Leuze, au sujet du mode d'alimentation des fissures du calcaire	516 § 2
Données diverses, fournies par les puits de la région de Tournai, montrant l'absence, dans les profondeurs du calcaire, d'une base d'alimentation générale qui serait indépendante de la nappe supérieure d'infiltration des dépôts meubles recouvrants.	516 § 5

Constatations faites dans le calcaire carbonifère d'Anvaing et de Péruwelz par M. Duraffour et montrant, avec l'absence de nappes générales, la localisation des eaux courantes souterraines dans les profondeurs du calcaire. (Notes 1 et 2 de la page.)	517
III. Le dernier exposé de M. Verstraeten au sujet de l'hydrologie des terrains calcaires rocheux en formations plissées et relatif au mode de captage de leurs eaux.	518
Légende de la figure 12, montrant, d'après M. Verstraeten, le diagramme du régime aquifère d'un massif rocheux calcaire en formation plissée et le mode de captage de ses ressources aquifères . . .	518 § 3
Appropriation par M. Verstraeten, sous des noms nouveaux, des éléments distingués par MM. Rutot et Van den Broeck, en 1895, dans le régime aquifère des calcaires (fig. 12)	519 § 2
A quoi se réduisent les plus récents conseils de M. Verstraeten pour le drainage en eaux alimentaires d'un massif calcaire, plissé ou redressé.	519 § 6
Curieuse objection fournie aux vues de M. Verstraeten par les données graphiques de sa figure explicative	520 § 1
Utilité qu'il y a à se rendre compte de la <i>valeur filtrante</i> des fentes et des cassures d'un massif calcaire à drainer pour usages alimentaires et études scientifiques à faire préalablement aux travaux de captage.	520 § 3
Exposé des inconvénients dénoncés par le figuré du dispositif préconisé par M. Verstraeten et par l'absence d'études géologiques, faites par un spécialiste, préalablement à l'établissement de tels dispositifs . .	520 § 5
Curieux exemples des dangers de contamination des sources et des résurgences d'eaux courantes engouffrées dans les calcaires, et de la facilité qu'il y aurait parfois à polluer les eaux d'alimentation (Notes du bas de ces pages)	522 et 523
Texte de l'article spécial consacré, en France, dans le nouveau projet de loi relatif aux eaux alimentaires, aux interdictions de contamination éventuelle des eaux potables par la voie des bétouilles, aiguilleuses, failles, etc.	523 § 4
Existence régionale possible de protection, par voie de filtrage interne ou externe, contre la contamination des eaux circulant dans les calcaires	525 § 2
Les principes « devant servir de guide dans les travaux de captage des eaux alimentaires » sont, non ceux exposés par M. Verstraeten, mais la nécessité du contrôle et de la confirmation des qualités alimentaires de l'eau à drainer ou à capter, par la voie d'une <i>étude scientifique préalable et approfondie</i> , spécialement dans le domaine de la <i>Géologie</i>	525 § 5
Exemples constatés de la persistance et de la prolifération des microbes dans le courant circulatoire souterrain des calcaires . . .	525 § 8
Extrait de l'étude de M. le Dr P. Raymond sur la rivière souterraine de Mindroi	526 § 6
Application de ces faits à ce qui doit se passer dans les plateaux calcaires des régions primaires de la Belgique	527 § 4

CONCLUSIONS.

Exposé détaillé des éléments d'un programme d'études scientifiques préalables à la mise sur pied technique d'un projet de drainage ou de captation d'eaux alimentaires, spécialement dans un massif rocheux calcaire plissé et redressé.	528
Inconvénients résultant, pour le drainage des calcaires rocheux, de l'adoption de la thèse de M. Verstraeten	528 § 3
Exposé de la marche rationnelle à suivre, qui doit débiter par une étude géologique détaillée	529 § 7
Ce qu'il faut entendre par l' <i>hydrologie dynamique</i> de la région calcaire soumise aux recherches hydro-géologiques.	530 § 2
L'ingénieur, dans la phase préliminaire d'étude, peut se charger des questions d' <i>hydrologie statistique</i>	530 § 3
Abandon complet à faire, dans l'étude du régime aquifère des régions calcaires à couches plissées et redressées, de la méthode d'appréciation des rendements à l'hectare-jour.	531 § 3
Importance de l'appréciation des fluctuations de débit sous l'influence des variations saisonnières et des actions temporaires météoriques	531 § 5
Le rôle des grands ruissellement accidentels	532 § 3
Analyses chimiques et bactérioscopiques.	532 § 5
Précieux avantages du nouveau procédé de recherches de M. <i>Marboutin</i> au sujet de l'étude de la circulation des eaux souterraines	533 § 3
L'étude du titre et des variations des <i>nitrates</i> , d'après le procédé <i>Schloesing</i> , comme critérium de l'origine et de degré d'élaboration des eaux de source	534 § 3
Exposé du cadre dans lequel doit s'effectuer et s'étendre l'enquête hydro-géologique préalable	536 § 3
Les éléments d'accession à l'intérieur des massifs calcaires, permettant d'en apprécier la structure interne, ainsi que les caractères régionaux des joints et diaclases, considérés comme facteurs de filtrage <i>interne</i>	537 § 1
L'étude à faire du manteau meuble protecteur pouvant recouvrir les massifs calcaires et servir de filtres <i>externes</i>	537 § 4
Importance de ces études, lorsqu'elles s'appliquent aux massifs calcaires rocheux plissés, disloqués et redressés, tels que ceux des calcaires devoniens et carbonifères de la Belgique.	538 § 2
Dispositions calcaires ne réclamant pas ces investigations détaillées.	538 § 3
C'est au <i>géologue</i> qu'il appartient de déterminer les éléments du programme d'études, suivant les cas considérés	538 § 4

C'est seulement muni des bases scientifiques fournies par le géologue que l'ingénieur est à même de commencer rationnellement ses travaux	539 § 2
Garanties que sont en droit de réclamer les populations alimentées par des eaux provenant du drainage ou du captage de massifs rocheux calcaires	539 § 4
RÉCAPITULATION. Utilité pratique du « Dossier hydrologique du régime aquifère des calcaires ». Sanctions obtenues en faveur des idées qu'il défend	539 § 5
C'est grâce aux progrès de la <i>Géologie</i> et de la <i>Spéléologie</i> que ces questions pratiques d' <i>Hydrologie appliquée</i> peuvent actuellement être aisément résolus pour le plus grand bien des populations	542 § 1

