

NOTE COMPLÉMENTAIRE

A

l'étude hydrologique

DU

ITTORAL BELGE

PAR

René d'ANDRIMONT

Extrait des *Annales de la Société géologique de Belgique*,
t. XXXI, *Mémoires*.

LIÈGE

IMPRIMERIE H. VAILLANT-CARMANNE

(Société Anonyme)

8, rue Saint-Adalbert, 8

—
1904

NOTE COMPLÉMENTAIRE

A

l'étude hydrologique

DU

LITTORAL BELGE

PAR

René d'ANDRIMONT

Extrait des *Annales de la Société géologique de Belgique*,
t. XXXI, *Mémoires*.



LIÈGE

IMPRIMERIE H. VAILLANT-CARMANNE

(Société Anonyme)

8, rue Saint-Adalbert, 8

—
1904

Note complémentaire à l'étude hydrologique du littoral belge,

PAR

René d'ANDRIMONT ⁽¹⁾

Il me paraît intéressant de résumer, en quelques mots, les opinions contradictoires qui se sont manifestées à la suite de mes publications sur l'hydrologie du littoral belge ⁽²⁾.

Cette note complémentaire a également pour but de relever certaines inexactitudes scientifiques, à l'aide desquelles ma manière de voir a été combattue et de faire connaître un travail ⁽³⁾ fort intéressant, qu'un de nos savants collègues de Hollande, M. Eug. Dubois, a publié à la suite de mes communications précédentes. Ce travail confirme plusieurs des hypothèses que j'avais émises et il me fournira l'occasion de dire quelques mots des causes et de la nature du mouvement de l'eau des couches aquifères, contenues dans les terrains meubles de nature plus ou moins homogène.

M. le baron O. van Ertborn m'a fait l'honneur de discuter mes notes à deux reprises, dans le *Bulletin de la Société*

(1) Communication faite à la séance du 21 février 1904.

(2) Note sur l'hydrologie du littoral belge. *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XXIX.
Contribution à l'étude hydrologique du littoral belge. *Ibid.*, t. XXX.

Etude hydrologique du littoral belge, envisagé au point de vue de l'alimentation en eau potable. *Revue universelle des Mines*, 1903.

(3) Feiten ter Opsporing van de bewegensrichting en de oorsprong van het grondwater onzer zeeprovincien. *Verlag van de gewone Vergadering des Wis- en Natuurkundige Afdeling* van 27 juni 1903.

belge de géologie (1). Je donnerai ici un aperçu des idées émises par notre savant confrère et je les discuterai brièvement.

I. — Dans ma première note, j'avais reproduit l'hypothèse, émise par M. Rutot (2), que la salure des eaux du Landénien pourrait être provoquée par le voisinage de la mer.

M. O. van Ertborn ne partage pas cet opinion. Après un examen du relief sous-marin, je crois également que l'on doit admettre que la profondeur de la mer du Nord est trop faible pour permettre au Landénien d'y affleurer en face de la côte belge; mais il n'en est pas de même un peu à l'Ouest, où le Crétacé est visible tant sur le littoral français que sur le rivage de la mer, en Angleterre. En outre, je suis loin d'admettre les autres arguments qu'il émet en faveur de ce qu'il avance.

D'après lui, jamais une source captive (artésienne) qui, à Ostende, a son niveau hydrostatique à la cote 12 (3), ne peut avoir son affleurement dans le lit de la mer.

Théoriquement parlant, ce principe est absolument faux. En effet, il suffit de supposer que l'affleurement de la nappe captive soit à 385 mètres (fig. 1) sous le niveau de la mer, dont l'eau a une densité plus forte, pour que la cote 12 soit atteinte. Cette profondeur de 385 mètres est un maximum, dans le cas où l'eau n'aurait aucun écoulement vers la mer et ne subirait, par conséquent, aucune perte de charge. Si un mouvement vers la mer se produisait, cette perte de charge devrait être déduite de la cote 12, et nous obtiendrions un chiffre inférieur à 385 mètres.

(1) Quelques mots au sujet de l'hydrologie de la côte belge. *Bull. Soc. belge de géologie*, t. XVI.

La question des eaux alimentaires dans les régions dunales et poldériennes du littoral belge. *Ibid.*, t. XVII.

(2) Les puits artésiens de Blankenberghe. *Ibid.*, t. II, 1888.

(3) Il s'agit de la côte mesurée à partir du niveau des basses eaux.

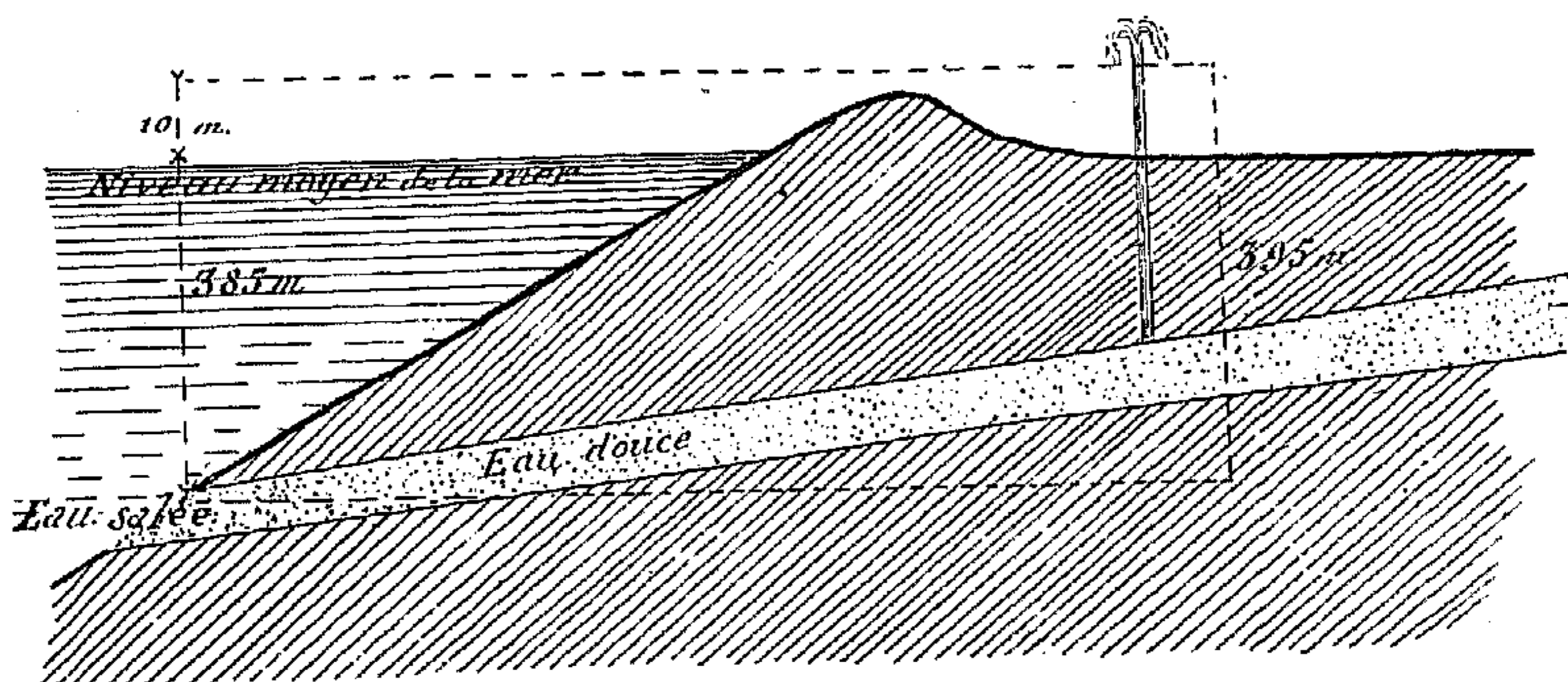


FIG. 1.

Je donnerai encore, pour preuve de ce que j'avance, le fait suivant : à Zandvoort, en Hollande, M. l'ingénieur R. Verbeek ayant fait placer une pompe à une distance assez grande de la plage, pour démontrer qu'il circule de l'eau douce en dessous d'une couche d'argile, l'eau jaillit à un niveau supérieur à celui de la mer ; le niveau de l'eau, dans le tube, oscillait avec les marées.

*
* *

Un second argument de M. van Ertborn est que les sels en dissolution dans la nappe captive et sans écoulement du Landénien (Sparnacien lagunaire) ne sont pas les mêmes que ceux qui sont en solution dans l'eau de la mer. M. van Ertborn croit qu'il est probable que, à l'époque landénienne, des sources minérales, de salure spéciale, s'écoulaient dans les lagunes et que ces eaux en imprègnaient les dépôts.

Il me semble, cependant, que, pour supposer l'intervention d'un phénomène aussi spécial et survenant si à propos pour contaminer le Sparnacien, il faut qu'aucune autre hypothèse ne soit admissible.

Il est loin d'en être ainsi, pourtant, et il suffit de se rappeler les expériences si intéressantes de notre collègue

et ami M. Paul Fourmarier, sur le cheminement de sels minéraux solubles dans l'eau, à travers de masses argileuses ⁽¹⁾, pour admettre que de grandes modifications peuvent se produire dans la proportion et la nature des sels en dissolution dans une nappe aquifère captive ⁽²⁾.

II. — Abordant un second point des notes que j'ai présentées, M. van Ertborn n'admet pas que l'eau douce du continent puisse flotter sur l'eau saumâtre profonde, de provenance marine, et il rejette cette explication du bombement considérable de la nappe aquifère des dunes. Selon lui, ce bombement s'explique tout naturellement, comme celui de toutes les nappes libres soumises à un drainage. A ce sujet, je me permettrai de faire remarquer à notre savant confrère que j'ai moi-même signalé qu'il est possible d'attribuer une partie de ce bombement à la cause toute simple, et si connue d'ailleurs, qu'il signale.

J'ai plusieurs raisons de croire, cependant, que la différence de densité joue un grand rôle dans la dénivellation en question. Je me bornerai à signaler ici deux observations spécialement démonstratives :

1° Un bombement important de la nappe aquifère des dunes s'observe, même aux endroits où l'altitude de la région dunière est insignifiante.

2° Des observations et des analyses très nombreuses d'eaux recueillies dans des puits de la région littorale hollandaise, faites par M. Eug. Dubois, à la suite de la publication de mon travail, et sur lesquelles je reviendrai, montrent clairement que la teneur en NaCl augmente

(¹) Expériences sur la formation de certains conglomérats. *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XXX.

(²) Telle est également la thèse soutenue par M. Eugène Dubois, et appuyée par de nombreuses observations, dans un travail qu'il vient de me communiquer : *Etudes sur les eaux souterraines des Pays-Bas. L'eau douce du sous-sol des dunes et des polders. Archives Teyler*, série II, t. IX, 1^{re} partie.

rapidement en profondeur et, qu'en général, la surface de séparation entre l'eau douce et l'eau saumâtre se rapproche du sol dans les zones où les eaux de la nappe libre sont déprimées et lorsqu'on s'avance vers la côte.

Ces deux observations confirment l'allure hypothétique que j'avais assignée à la surface de démarcation entre les eaux douces du continent et les eaux saumâtres de la mer (1).

Après avoir démontré que les faits observés confirment entièrement cette hypothèse, il me paraît intéressant de reproduire l'argumentation que nous oppose notre savant confrère.

« Nous n'avions pas admis la théorie de M. Herzberg »
 » qui considère l'eau douce comme flottant sur l'eau salée »
 » comme un bouchon et attribuant à la différence de densité »
 » des deux eaux, la cause de la différence de niveau existant »
 » entre la nappe d'eau salée et la nappe d'eau douce. Nous »
 » n'avons pas admis cette théorie à cause de son peu de »
 » fondement. Une mer bordée de dunes est toujours très »
 » peu profonde, soyons généreux et mettons quatre mètres, »
 » ce qui est même exagéré, car avec cette minime profon- »
 » deur, les bains ne seraient plus possibles. Nous nous »
 » étions rappelé que Daubrée avait dit que, dans les dunes »
 » de la Gascogne, l'eau douce s'élève à 15 et 20 mètres de »
 » hauteur. Une colonne d'eau salée de 4 mètres ferait donc »
 » contrepoids à une colonne d'eau douce de 20 mètres de »
 » hauteur, d'après M. Herzberg. Un vrai travail de « com- »
 » presseur » car la densité de l'eau douce étant de 1 000 et »
 » celle de l'eau de mer de 1 027, une colonne d'eau de mer »
 » de quatre mètres de hauteur ne peut faire contrepoids

(1) Je reproduis ci-après les propres expressions de M. Dubois dans son travail : *Etudes sur les eaux souterraines des Pays-Bas*. « Il faudrait être frappé de cécité » pour les faits, comme quelques-uns l'ont été en effet, il y a à peine quelques mois. » pour ne pas voir que cette théorie peut être appliquée dans toute sa rigueur au » sol hollandais. »

» qu'à une colonne d'eau douce de *quatre mètres et*
 » *108 millimètres*. La différence est donc absolument
 » insignifiante. »

En ce qui concerne le passage que je viens de reproduire, j'ai la conviction qu'une distraction seule peut avoir amené mon honorable contradicteur à soutenir une thèse aussi contraire à la théorie des vases communicants.

Il est incontestable que le fond de la mer est, en majeure partie, constitué de couches sableuses et M. van Ertborn lui-même admet que toutes les assises supérieures aux argiles yprésiennes sont absolument perméables.

Dans ces conditions, toute l'épaisseur de terrain, depuis le fond de la mer jusqu'à l'assise yprésienne, imperméable, est impregnée d'eau.

Pour que le calcul de M. van Ertborn puisse s'appliquer, il faudrait admettre que les quatre mètres d'eau saumâtre de la mer, flottent (!) sur l'eau douce, de densité inférieure, à l'encontre de toutes les lois de la pesanteur.

On ne peut donc admettre qu'une seule hypothèse : c'est que l'eau contenue dans le sous-sol de la mer est saumâtre ⁽¹⁾.

Dans ce cas, il est absolument évident que, pour obtenir une équation d'équilibre au point A (fig. 2), il faut abaisser

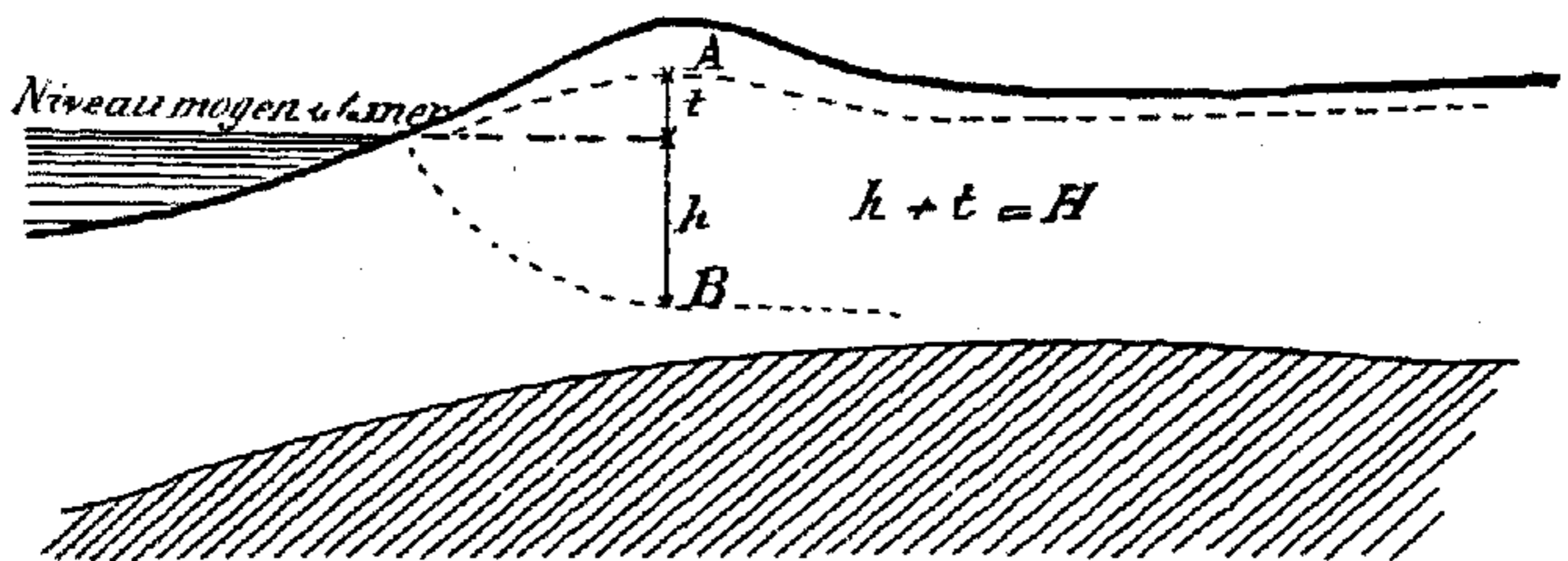


FIG. 2.

(1) Il est entendu que cette affirmation ne concerne, en aucune façon, les nappes captives.

une verticale jusqu'à la rencontre de la surface de séparation des deux liquides de densité différente, en *B*; la hauteur *H* sera ainsi déterminée.

Une horizontale menée par la cote des moyennes eaux déterminera *h*.

Nous aurons donc l'équation que j'ai indiquée.

$$H = (h \times 1.026)$$

$$t = H - h = h \times 0.026$$

$$h = \frac{t}{0.026}$$

Ici encore, les observations de M. Eug. Dubois dans les dunes hollandaises confirment entièrement l'exactitude de cette formule. Dans les régions basses, où la hauteur *t* est peu considérable, le niveau des eaux saumâtres se rencontre à peu de profondeur, tandis que, dans les hautes dunes, cette profondeur est beaucoup plus considérable.

III. — M. van Ertborn cite également des chiffres que nous ne pouvons admettre. Il estime que le cube d'eau absorbé par les sables dunaux est de 2 à 3 mètres cubes par hectare-jour.

Un simple raisonnement fera comprendre que ces chiffres doivent être beaucoup trop faibles.

Nous remarquons, en effet, que plus un terrain est perméable en grand, c'est-à-dire plus les espaces compris entre les grains sont considérables, plus la proportion d'eau absorbée est importante.

Nous aurons ainsi une proportion d'eau absorbée décroissant depuis le gravier, composé de gros éléments, jusqu'au limon hesbayen, composé de grains impalpables.

Or, en ce qui concerne ce dernier, les installations du service des eaux alimentaires de la ville de Liège ont démontré une absorption de 3 à 4 mètres cubes par hectare-jour.

Le rendement des terrains sableux des dunes doit donc être plutôt supérieur à ce chiffre. D'ailleurs, M. Eug. Dubois renseigne, qu'en Hollande, l'observation a démontré que l'absorption d'eau est de plus de 50 %^o, ce qui correspondrait, pour la Belgique, à 8 mètres cubes par hectare-jour.

Ce dernier rendement me paraît cependant exagéré et pourrait être invoqué à l'appui de la thèse que nous avons soutenue au sujet de l'écoulement des eaux souterraines de la région littorale vers la mer.

IV. — M. van Ertborn s'efforce ensuite de démontrer qu'aucune expérience de longue durée n'a été faite sur le débit de la nappe aquifère des dunes. Il suffit de citer quelques chiffres pour démontrer le contraire.

Les prises d'eau dans les dunes sont extrêmement répandues en Hollande; la première fut établie en 1853, pour l'alimentation d'Amsterdam. En 1900, environ un cinquième des villes pourvues d'une distribution prennent leur eau à cette source; je citerai, parmi celles-ci, Flessingue, Middelbourg, Delft, Leyde, Harlem, La Haye et Amsterdam.

Les 500 000 habitants de cette dernière ville sont alimentés par un cube journalier de 23 000 mètres cubes d'eau des dunes. La surface drainée est de 3 500 hectares.

V. — Parlant ensuite de la qualité des eaux contenues dans le sous-sol des dunes, M. van Ertborn estime qu'il serait dangereux d'établir des ouvrages captants en dessous du niveau de la mer, par crainte d'invasion d'eau marine ou d'eau polluée du continent.

J'ai déjà démontré le peu de fondement de la première de ces craintes. Quant à la deuxième, je crois qu'il n'est personne qui puisse prétendre qu'une filtration horizontale d'eau polluée, au travers du sable des dunes, ne purifie celle-ci après un trajet très peu considérable.

VI. — M. van Ertborn examine ensuite la question de captage et il préfère les galeries à un système de puits. J'ai suffisamment démontré, dans mes précédentes notes, la supériorité incontestable de ce dernier. Je me bornerai à répéter qu'un système de puits suffisamment rapprochés peut, théoriquement et pratiquement, fournir tout autant d'eau qu'une galerie et qu'il coûte infiniment moins cher.

Au sujet du projet de captage par puits filtrants, que j'ai toujours préconisé, notre honorable contradicteur dit encore : « Nous ne nous étendrons pas d'avantage sur ce mode de captage des eaux, bien connu de tous les ingénieurs qui s'occupent de la question ».

Je me permettrai de faire observer que la question n'est pas si bien connue que mon contradicteur veut le dire. Les échecs sont nombreux et, quant à leur cause probable, je renverrai aux notes que j'ai communiquées, à ce sujet, à la Société géologique, dans le courant de l'année dernière.

VII. — Enfin, pour terminer l'examen de la première partie du mémoire de notre savant collègue, je me vois forcé de relever quelques inexactitudes, en ce qui concerne les idées théoriques qu'il émet.

1. « Quand une nappe aquifère occupe un niveau plus élevé que le fond d'une vallée ou de toute autre dépression, il y a toujours fuite et telle est l'origine de toutes les sources que nous voyons sourdre dans les vallées ».

L'auteur oublie une catégorie de sources très importantes, celles qui proviennent de ce que la nappe aquifère est ramenée à la surface du sol par un affleurement de la base imperméable.

2. « Les argiles et les limons sont théoriquement perméables ; mais, pratiquement, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper dans la présente question ».

Notre honorable contradicteur oublie, sans doute, que les limons recouvrent tout le territoire drainé par les galeries alimentaires de la ville de Liège.

VIII. — Dans toute cette partie du mémoire de M. van Ertborn, il n'a pas été question de l'écoulement de la nappe aquifère dans le sens de la pente de l'assise yprésienne imperméable, c'est-à-dire vers la mer.

Dans la dernière partie de son travail, il met en doute cet écoulement lent de la nappe aquifère.

Il cite comme exemple, le cas du creusement des bassins du port d'Anvers et les travaux du port de Bruxelles, où l'on est parvenu à épuiser complètement une nappe aquifère et il voit, dans ce fait, la preuve de la lenteur de l'écoulement de l'eau dans ces nappes contenues dans un terrain perméable en petit.

Quant à moi, je ne vois rien là, qui soit de nature à infirmer l'opinion que j'ai émise. M. van Ertborn s'étonne de voir une excavation de douze mètres de profondeur et de quinze hectares de superficie, se maintenir à sec, mais il ne s'étonnera pas de voir presque à sec une vallée creusée en terrain perméable et aquifère, telle qu'il s'en rencontre de nombreux exemples; je ne vois pas en quoi peut différer le régime permanent qui s'établit dans une dépression naturelle et dans une dépression artificielle.

Il en eût été tout autrement et le débit se fût maintenu si, au lieu d'épuiser au fond d'une excavation, on eût drainé, par puits ou par galeries, l'eau contenue dans le terrain resté en place. Il ne faut pas oublier que, sur une surface de quinze hectares, l'évaporation joue un rôle très important.

Je pense que l'écoulement de la nappe aquifère est parfaitement démontré, parce que le littoral belge est presque entièrement dépourvu d'exutoires superficiels

vers la mer. L'eau, ne pouvant s'amasser indéfiniment dans les couches perméables du sous-sol et rencontrant une base imperméable, suit fatalement la direction que celle-ci lui impose.

IX. — Enfin, il reste un dernier passage du mémoire présenté par M. van Ertborn, que je ne puis admettre.

« Jusqu'à présent nous avons la naïveté de croire que » le caractère fondamental de toute nappe libre est de ne » pouvoir remonter et voilà M. Herzberg qui nous prouve » mathématiquement le contraire; avouons aussi que nous » sommes et restons absolument incrédule au sujet du » mouvement ascensionnel de l'eau dans les dunes ».

Cette affirmation de notre confrère ne prouve qu'une chose, c'est que la définition de la nappe libre, telle qu'il la conçoit, est fautive et je crois que la définition suivante, que je propose, embrasse tous les cas qui peuvent se présenter: « On appelle nappe aquifère libre, toute nappe ou partie de » nappe dont les eaux ne sont pas maintenues sous » pression par un toit imperméable qui la recouvre ».

Quant à la nappe libre des dunes, elle peut parfaitement être animée d'un mouvement ascensionnel.

Ce qui induit en erreur M. van Ertborn, c'est que cette nappe, dans le sous-sol des dunes, repose, non sur une base imperméable fixe, mais sur une base mobile ⁽¹⁾.

Suivant l'épaisseur de la nappe d'eau douce, la base mobile s'élève ou descend, de telle manière que l'équilibre subsiste, et elle entraîne avec elle un mouvement, soit ascendant, soit descendant, de toute l'eau douce contenue dans le sous-sol.

La confirmation de cette hypothèse nous est fournie par les applications que M. Eug. Dubois a tirées d'un principe

(1) Les observations de M. Eug. Dubois sont concluantes à cet égard.

que j'avais signalé dans l'une de mes communications précédentes sur ce sujet : deux puits descendus à peu de distance l'un de l'autre, à des profondeurs différentes, dans une même nappe aquifère, peuvent nous donner des indications sur le mouvement des eaux, dans la direction de la verticale. Un niveau hydrostatique plus élevé dans le puits profond, indique un mouvement ascensionnel de l'eau et la différence des niveaux hydrostatiques marque la perte de charge que l'eau subit pendant le trajet entre la base du puits profond et celle du puits superficiel. Une dénivellation en sens inverse, indique un mouvement descendant de l'eau.

M. Eug. Dubois a relevé les niveaux hydrostatiques d'un grand nombre de puits. L'application du principe énoncé plus haut montre que, dans les parties basses des dunes, le mouvement est ascendant ; la nappe libre y est très rapprochée du sol, et les eaux deviennent saumâtres à peu de profondeur. Toute dépression dans la zone dunale permet à la nappe aquifère d'affleurer, pour ainsi dire, et il en résulte un appel d'eau produit, soit par drainage, soit par évaporation.

Conformément au principe que j'avais émis, un mouvement ascensionnel correspond à toute prise d'eau dans les dunes. Dans les hautes dunes, le contraire s'observe.

*
* *
*

Je suis convaincu que c'est de la meilleure foi du monde que M. le baron van Ertborn a combattu mes idées au sujet du régime hydrologique tout spécial des régions marines. Toute conception neuve et un peu hardie attire la critique et celle de notre savant confrère me fait le plus grand honneur.

Si je prolonge le débat par la présente note, c'est que plusieurs des idées théoriques émises par ce savant hydro-

logue me paraissent de nature à fausser les idées et que des faits nouveaux sont venus, depuis un an, confirmer les hypothèses que j'avais cru pouvoir émettre.

**Note additionnelle sur le travail
de M. Eugène Dubois :**

Feiten ter Opsporing van de bewegensrichting en den oorsprong van het grondwater onzer Zeeprovinciën. *Verlag van de gewone vergadering des Wis- en Natuurkundige afdeling van 27 juni 1903.*

Cette étude porte principalement sur les plaines maritimes du nord de la Hollande, comprenant la région dunière. Des centaines de puits tubés, de toutes profondeurs, y ont été foncés dans ces dernières années. Le sous-sol est entièrement sableux, sauf quelques couches argileuses et limoneuses, peu épaisses et peu continues; les formations géologiques inclinent vers l'Ouest, c'est-à-dire vers la mer.

Les argiles que l'on rencontre sont plutôt limoneuses, car la proportion de silice y est très considérable; elle varie de 66 % à 100 %. On rencontre également des couches de tourbe; celles-ci, lorsqu'elles sont situées à peu de profondeur, emmagasinent de grandes quantités d'eau et régularisent l'infiltration en profondeur.

L'eau circule donc lentement, peut-être, mais librement, au travers de tous ces terrains.

L'auteur cherche à déterminer la direction de l'écoulement des nappes aquifères, par de nombreuses observations portant sur le niveau des puits profonds et superficiels.

Il montre d'abord, que la pression peut se communiquer rapidement au travers d'une masse sableuse aquifère. Il cite plusieurs exemples très intéressants.

1° Des observations faites le 27 avril 1903, après une semaine pluvieuse, montrent que le niveau de l'eau, dans des puits profonds, monte de 15 à 20 centimètres. Une semaine après, le niveau redescend de 6 centimètres dans tous les puits et ce n'est qu'après un mois de sécheresse, que l'eau reprend son niveau primitif.

2° Lorsqu'un tram circule sur le talus du chemin de fer du Watergraasmeer-polder, le niveau de l'eau, dans un puits tubé situé à 18 mètres de là et profond de 34.5 m. monte de 7^m/m.

3° M. Eug. Dubois a même observé que la pression barométrique fait varier de plusieurs centimètres le niveau de l'eau provenant des puits profonds. Ce phénomène peut s'expliquer parce que la pression se communique instantanément à l'eau d'un puits, tandis qu'il faut un certain temps pour qu'elle se transmette au travers des terrains surmontant la nappe aquifère.

4° Le niveau de l'eau, dans les puits, oscille avec les marées, jusqu'à 3 et 4 kilomètres de la mer. Une série d'observations faites par M. Eug. Dubois montre que le niveau des eaux d'un puits dont la base se trouve à la cote — 28.30, situé à 350 mètres de la mer, monte de 0.30 m. à la suite de chaque marée. L'oscillation se produit avec un retard de 40 minutes sur la marée.

L'auteur cite ensuite une longue série d'observations démontrant que, dans les parties basses, le niveau de l'eau, dans les puits profonds, est supérieur à celui des puits superficiels. Le contraire se produit dans les hautes dunes. Conformément aux idées que j'ai émises, l'auteur en conclut que, dans le sous-sol des régions basses, le mouvement de l'eau est ascendant et que, dans les régions des hautes dunes, le mouvement est descendant.

Se rapportant ensuite à la forme extérieure de la nappe qui suit plus ou moins les ondulations du sol, l'auteur en conclut que l'eau des hautes dunes s'écoule vers les parties

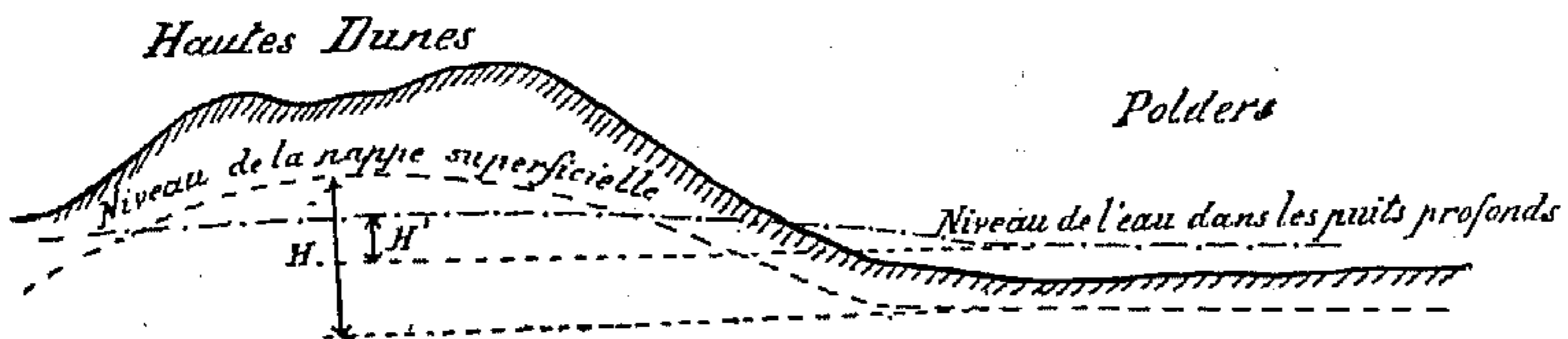
basses. Les observations de M. Eugène Dubois démontrent, en outre, que la surface de séparation entre les eaux douces et les eaux saumâtres, est plus rapprochée du sol dans les régions basses, ce qui confirme encore l'exactitude de la formule que j'ai préconisée.

Comme la teneur en sel de la partie superficielle de la nappe aquifère y est également beaucoup plus considérable, il est logique d'admettre que la base mobile d'eau salée, sur laquelle flotte la nappe superficielle et qui est à une profondeur peu considérable, cède de l'eau à celle-ci et contribue ainsi au mouvement ascensionnel général. Celui-ci peut se continuer indéfiniment, à cause du drainage et de l'évaporation qui affectent les parties basses et marécageuses.

Il résulte des observations précédentes et des chiffres cités par l'auteur, une déduction très importante et qu'il ne fait pas ressortir.

Je ne pense pas que l'on ait jamais comparé la vitesse d'écoulement de l'eau de la partie supérieure d'une nappe aquifère avec celle de la partie inférieure.

L'observation du niveau des puits profonds permet de résoudre le problème. La figure 3 le montre et il ressort clairement des chiffres cités par l'auteur, que ce mouvement est plus lent dans les parties profondes.



H. Perte de charge provenant de la circulation dans la partie supérieure de la couche aquifère

H' Perte de charge provenant de la circulation dans la partie inférieure de la couche aquifère

FIG. 3.

M. Eugène Dubois n'a pas observé d'écoulement vers la mer; mais je crois, cependant, que celui-ci existe et que l'écoulement général est masqué par le mouvement relatif de certaines parties des nappes aquifères vis-à-vis d'autres. M. Dubois lui-même a observé de puissants écoulements d'eau douce le long de la plage et il croit que, si un écoulement superficiel se produit, on doit en déduire l'écoulement d'une tranche d'une certaine épaisseur. Cette déduction est exacte et j'ai démontré, précédemment, qu'un écoulement en profondeur existe. D'ailleurs, la plage constitue une dépression et je crois que c'est grâce à celle-ci, que les eaux de la nappe aquifère remontent et parviennent à s'écouler dans la mer.

Le sens de l'écoulement d'une nappe aquifère libre ne dépend pas de sa forme extérieure, mais de la pente de l'assise imperméable, qui la retient.

Dans le cas actuel, on observe un écoulement des eaux de la zone dunale vers les parties basses.

Cet écoulement est, selon moi, parfaitement prouvé et je comparerai ces mouvements d'une partie de la nappe par rapport à une autre, aux remous que l'on aperçoit dans les eaux d'une rivière. L'écoulement général de celle-ci se fait dans le sens de l'inclinaison de son lit, mais des remous locaux permettent à certaines portions de l'eau de

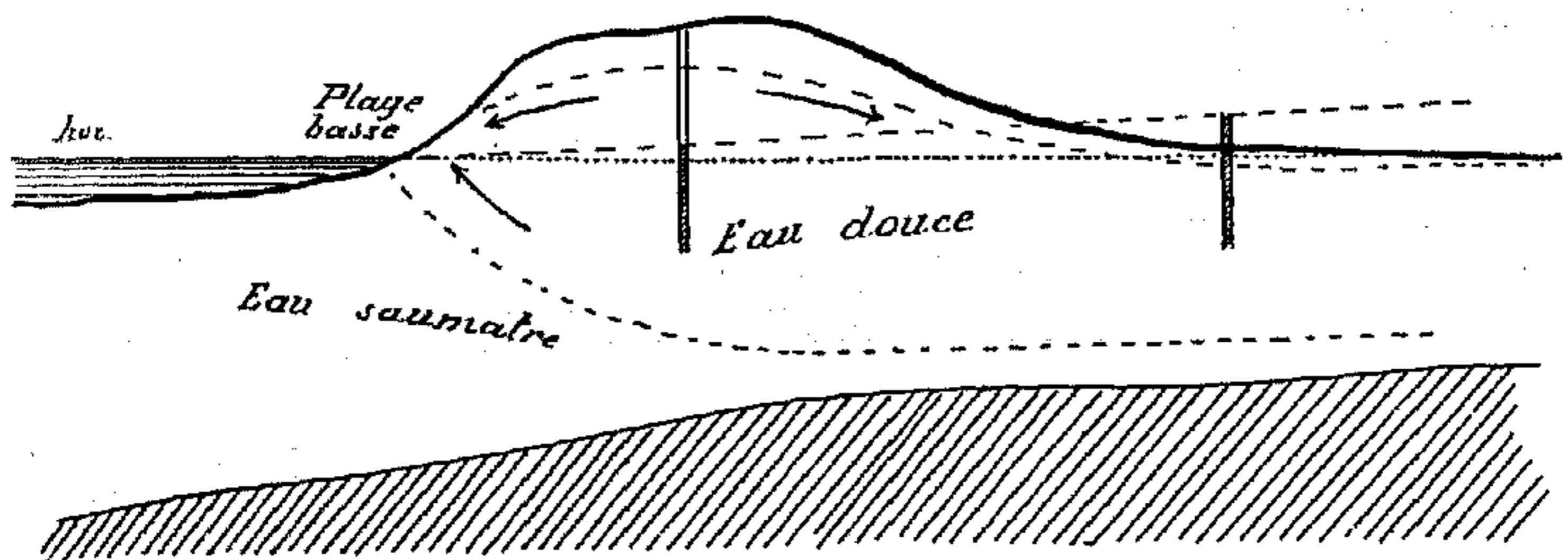


FIG. 4.

revenir en arrière. L'étude des mouvements de l'eau qui circule dans le sous-sol est extraordinairement plus compliquée qu'on ne se l'imagine et je ne vois rien d'impossible à ce que, en certains endroits, l'eau de la partie superficielle d'une nappe libre circule dans un sens opposé à celui de l'écoulement général; tel est le cas représenté dans la figure 4.

L'observation des niveaux hydrostatiques des puits profonds et superficiels pourra démontrer la réalité de cette hypothèse.

Il est utile de remarquer, cependant, que les déductions qu'on peut en tirer ne peuvent être exactes, que pour autant que le terrain aquifère soit plus ou moins homogène.

La dernière partie du mémoire de M. Eugène Dubois est consacrée à l'étude de la teneur en Na Cl des eaux de puits. Je ne citerai pas ici les nombreux chiffres qu'il donne. Il résulte de ceux-ci :

1° que l'eau de mer pénètre très profondément dans le continent.

2° que l'épaisseur de la nappe d'eau douce est proportionnelle à l'altitude de sa surface.

3° que, abstraction faite de la loi précédente, les eaux salées se rencontrent de plus en plus profondément, lorsqu'on s'éloigne de la côte.

4° que la netteté de ces phénomènes est altérée, lorsqu'une couche moins perméable rompt l'homogénéité du terrain.

Les observations de M. Eugène Dubois confirment donc, en tous points, les idées que j'ai toujours défendues.

Il y a un an, des hypothèses seules étaient permises; aujourd'hui, beaucoup de points sont élucidés et il me paraît de plus en plus probable que la région dunale pourrait fournir, aux habitants de la côte, l'eau qui leur est nécessaire.
