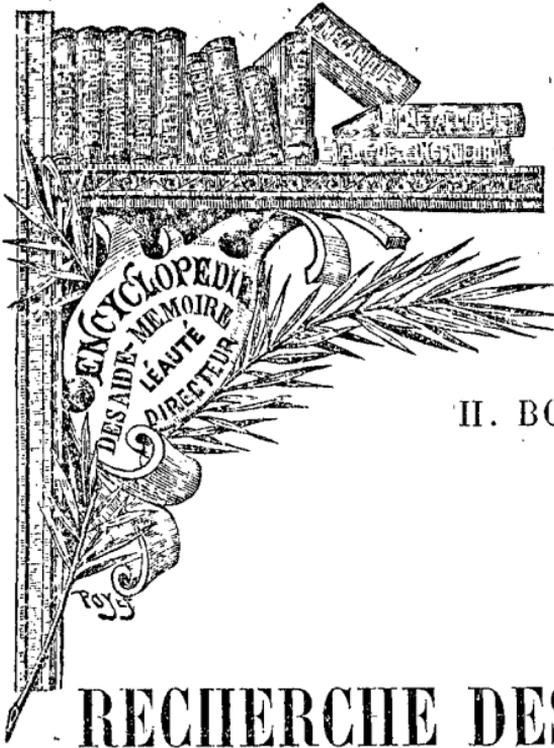


*Section de l'Ingénieur*

---



H. BOURSAULT

---

# RECHERCHE DES EAUX

## POTABLES ET INDUSTRIELLES

GAUTHIER - VILLARS

MASSON ET C<sup>o</sup>

# ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

## Section du Biologiste

MM.	MM.	MM.
Arloing (S.).	Desmoulin (A.).	Letulle.
Arsonval (d').	Dubreuilh (W.).	L'Hôte.
Artault.	Dutil.	Loubié (H.).
Auvard.	Duval (Mathias).	Loverdo (J. de).
Azoulay.	Ehlers.	Magnan.
Ballet (Gilbert).	Etard.	Malpeaux.
Bar.	Fabre-Domergue.	Martin (A.-J.).
Barré (G.).	Faisans.	Martin (Odilon).
Barthélemy.	Féré.	Maurange (G.).
Bauby.	Florand.	Maygrier.
Baudouin (M.).	Filhol (H.).	Megnin (P.).
Bazy.	Foex.	Merklen.
Beauregard (H.).	François-Franck (Ch)	Meunier (Stanislas).
Beille.	Galippe.	Meunier (Victor).
Bérard (L.).	Gasser.	Meyer (D <sup>r</sup> ).
Bergé.	Gautier (Armand).	Monod.
Bergonié.	Gérard-Marchant.	Moussous.
Bérillon.	Gilbert.	Napias.
Berne (G.).	Girard (A.-Ch.).	Nocard.
Berthault.	Giraudeau.	Noguès.
Blanc (Louis).	Girod (P.).	Olivier (Ad.).
Bodin (E.).	Gley.	Olivier (L.).
Bonnaire.	Gombault.	Ollier.
Bonnier (P.).	Grancher.	Orschansky.
Brault.	Gréhan (N.).	Peraire.
Brissaud.	Hallion.	Perrier (Edm.).
Broca.	Hanot.	Petit.
Brocq.	Hartmann (H.).	Peyrot.
Brun.	Henneguy.	Poix.
Brun (H. de).	Hénocque.	Polin.
Budin.	Houdaille.	Pouchet (G.).
Carrion.	Jacquet (Lucien).	Pozzi.
Castex.	Joffroy.	Prillieux.
Catrin.	Kayser.	Ravaz.
Cazal (du).	Köhler.	Reclus.
Cazeneuve.	Labat.	Rénon (L.).
Chantemesse.	Labit.	Retterer.
Charrin.	Lalesque.	Roché (G.).
Charvet.	Lambling.	Roger (H.).
Chatin (J.).	Lamy.	Roux.
Collet (J.).	Landouzy.	Roule (L.).
Cornevin.	Langlois (P.).	Ruault.
Courtet.	Lannelongue.	Schloesing fils.
Cozette.	Lapersonne (de).	Ségias.
Cristiani.	Larbalétrier.	Sérieux.
Critzman.	Laulanié.	Tissier (D <sup>r</sup> ).
Cuénot (L.).	Lavarenne (de).	Thoulet (J.).
Dallemagne.	Laveran.	Trouessart.
Dastre.	Lavergne (D <sup>r</sup> ).	Trousseau.
Dehérain.	Layet.	Vallon.
Dalobel.	Le Dantec.	Vanverts (J.).
Deforme.	Legry.	Weill-Mantou (J.).
Demmler.	Lemoine (G.).	Weiss (G.).
Demelin.	Lermoyez.	Winter (J.).
Dénucé.	Lesage.	Wurtz.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

BOURSULT — Recherche des eaux potables et industrielles

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire : L. Isler, Secrétaire  
général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 255 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

---

RECHERCHE

DES

**EAUX POTABLES**

**ET INDUSTRIELLES**

PAR

**HENRI BOURSAULT**

Chimiste à la C<sup>ie</sup> du Chemin de fer du Nord

---

PARIS

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON et C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS  
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

---

- I. Calcul du temps de pose en photographie.**
- II. Recherche des eaux potables et industrielles.**

## INTRODUCTION

---

L'eau est sans contredit une des substances naturelles les plus indispensables à la vie ; aussi, depuis les origines les plus reculées de l'homme, trouve-t-on des traces des travaux ou tout au moins des efforts qu'il a faits pour l'obtenir à proximité de sa demeure.

Au début de l'humanité, les habitations se groupaient aux abords des rivières ou des sources. De nos jours encore, on trouve, dans la plupart des régions, des lignes de villages sur les flancs des collines, au niveau de certains affleurements de nappes, là où il existe des sources ou tout au moins des facilités de rencontrer ces nappes dans des puits peu profonds.

Cependant, les progrès et les besoins de plus en plus variés de la vie ayant amené les hommes à se grouper en des points très différents, souvent totalement dépourvus d'eau, ils furent obligés de rechercher cet élément ailleurs que là où il était immédiatement visible ou directement utilisable. La nécessité de découvrir les sources

était née ; l'art du chercheur d'eau s'imposait et fut, dès le début, exploité par des spécialistes, ou pour être plus exact, par des charlatans ou sorciers, ainsi que cela arrivait fatalement pour toute question touchant aux phénomènes naturels, toujours entourés de mystère.

L'alimentation des nappes souterraines et des rivières elles-mêmes par les eaux météoriques, si évidente à nos yeux, fut une des vérités les plus lentement admises. Bernard Palissy, dans son *Traité des Eaux et Fontaines*, a été un de ses sérieux défenseurs et plus près de nous encore, Mariotte, revenant sur la question <sup>(1)</sup>, fit voir l'eau suintant au ciel des galeries et cavernes, par toutes les fissures de la roche.

L'accumulation lente des documents fournis par la nature, ne donna pas facilement la clé des phénomènes qui, par la multiplicité des cas, semblaient très différents les uns des autres. Les observateurs les plus consciencieux étaient dérouterés par les exceptions ou les faits accessoires ; ceux-ci, comme cela arrive le plus souvent pour les faits naturels, étant les plus directement observables, on a peine à ne pas leur attribuer une autorité exagérée.

La géologie est enfin venue donner à l'hydro-

---

(1) MARIOTTE. — *Traité du mouvement des eaux*. Paris, 1700.

logie la base scientifique qui lui manquait, en faisant connaître non seulement la nature des terrains, mais surtout leur allure et leur position relative. Malheureusement, les rapports entre la géologie et l'hydrologie ont été et sont encore trop souvent mal définis. L'immense variété des cas envisagés en matière de recherche d'eau rend les problèmes très compliqués par suite du grand nombre d'éléments de la question. La position géographique, le climat, l'altitude et surtout les différences considérables qui existent dans la composition minéralogique de telle ou telle formation, sont autant de conditions variables qui multiplient à l'infini les cas particuliers (1).

En matière de recherche d'eau, il est courant d'entendre dire que l'incertitude est la règle absolue et qu'il est impossible de formuler des lois même approchées, relatives à la circulation des eaux. C'est là une grave erreur, les mécomptes sont fréquents et souvent très graves; mais s'il est impossible de les éviter complètement, parce qu'on ne peut jamais connaître la totalité des facteurs d'une question hydrologique, il n'en est pas moins vrai que la plupart de ces

---

(1) Il n'est, bien entendu, question dans ce volume que de l'état et de la manière d'être actuels de l'eau, abstraction faite de son rôle géologique antérieur.

insuccès peuvent être épargnés à la suite d'une étude préliminaire raisonnée.

Ce qu'il ne faut pas faire, c'est de demander à la géologie des lois absolues qu'elle ne peut donner, et surtout il faut éviter de généraliser des faits, bien observés, mais trop particuliers.

Les exemples donnés par la pratique sont aujourd'hui tellement nombreux qu'il est relativement facile de grouper et d'interpréter justement ceux qui ne sont pas en désaccord.

Dans toute recherche hydrologique, on doit s'appuyer non seulement sur la géologie, mais aussi ne jamais perdre de vue les lois physiques absolues de l'hydraulique. On a fréquemment le tort de ne voir, soit que le côté géologique, soit que le côté mathématique. Cependant, si les lois physiques sont applicables, il n'en est pas de même des formules ; celles-ci restent justes, mais elles comprennent presque toujours des éléments dont la valeur échappe à toute mesure.

En hydrologie, il est en outre très fréquent de prendre les effets pour les causes et inversement. Il y a là un écueil contre lequel on se heurte trop souvent, il en est de même de la généralisation ou de l'interprétation hâtives de faits anormaux, qui peuvent conduire à formuler de prétendues lois basées sur l'exception.

En matière d'eau, la prudence doit être la règle absolue, tout doit être contrôlé, vérifié et

bien expliqué pour chaque cas envisagé ; les principes les plus simples et les plus généralement admis pouvant se trouver en défaut.

La recherche des eaux est donc un problème toujours difficile et soumis à une assez grande incertitude, par suite du manque forcé de certains éléments de la question, mais cela n'est pas une raison pour abandonner la partie et laisser au hasard le soin de le résoudre.

L'eau est partout dans les régions accessibles du globe ; à partir d'une certaine profondeur au-dessous de laquelle elle ne peut exister à l'état liquide, on la rencontre en quantité plus ou moins grande sous l'un quelconque des trois états. L'air privé d'humidité, ainsi que les roches anhydres, sont des exceptions ; on passe insensiblement des milieux à peine humides aux océans.

Il se produit un continuel changement d'état de l'eau qui se vaporise ou se condense suivant les circonstances naturelles. L'état solide, sous ses diverses formes : neige, givre, glace, grêle, existe aussi fréquemment, mais ne rentre pas essentiellement dans le cycle normal.

Les eaux météoriques, arrivées sur le sol, y ruissellent, pénètrent en partie dans les roches ou retournent directement à l'atmosphère par évaporation. Les portions qui pénètrent dans le sol y constituent les nappes, réapparaissent sous

forme de sources, rejoignent les cours d'eau, et se rendent finalement à la mer. Celle-ci, collecteur général, joue un double rôle ; grâce à son immense surface éminemment favorable à l'évaporation, elle rend continuellement à l'atmosphère une notable partie de l'eau qu'elle reçoit. La vapeur ainsi entraînée par les vents sous forme de nuages ou de brouillards va se condenser sur les continents, pour recommencer son chemin superficiel ou souterrain.

Le cycle complet, ayant la mer pour point de départ et pour point d'arrivée, n'est d'ailleurs pas toujours réalisé ; il y a continuellement échange et balancement d'équilibre, entre l'humidité de l'atmosphère et celle du sol ; il en résulte des brouillards qui, eux aussi, jouent un double rôle d'échange, apportant ou enlevant de l'eau, suivant les états relatifs de celle-là et de celui-ci.

Les chutes d'eau sont naturellement extrêmement variables, suivant les régions du globe ; régulières et relativement faibles dans certaines parties, elles sont, au contraire, périodiques et abondantes dans d'autres ; certains pays sont même absolument privés d'eau météorique sous toutes ses formes.

D'une façon générale, et à latitude égale, les chutes d'eau sont d'autant plus abondantes que l'altitude est plus élevée, que cette chute se

fasse sous forme de pluie, de neige ou de givre. Le voisinage immédiat des grandes masses d'eau et surtout des mers, modifie évidemment légèrement cette loi <sup>(1)</sup>, mais il est facile de la vérifier dans ses grandes lignes en comparant les cartes hypsométriques et pluviométriques.

L'évaporation s'effectue aussi avec une intensité des plus variables, non seulement suivant les lieux, mais encore pour chaque point, suivant les saisons et un grand nombre de circonstances accessoires.

Le ruissellement et la pénétration dans le sol, qui dépendent de la perméabilité, de la pente et de la nature des terrains, ainsi que du volume et de la vitesse de l'eau, sont eux aussi d'importants phénomènes modifiés à l'infini et qui amènent des perturbations et une immense variabilité dans les phases de la circulation générale.

A quel moment du cycle doit-on prendre l'eau pour l'utiliser, et quels moyens doit-on employer pour arriver à ce résultat ? Tel est le problème posé.

La recherche et l'utilisation des eaux superficielles présentent bien certaines difficultés, mais

---

(1) Cette influence est quelquefois nulle, c'est ainsi que les environs immédiats de Dunkerque figurent parmi les points de la France où il tombe le moins d'eau.

étant données les facilités de l'observation directe, le problème est relativement simple.

Toute autre est la recherche des eaux souterraines. Alors même qu'il s'agit de capter une source qui est essentiellement visible, il faut savoir comment elle est alimentée et quel est le régime de la nappe, pour ne pas être exposé à la perdre ou à la rendre inutilisable par des travaux imprudents ; parmi ceux-ci, il faut citer ceux qui ont pour but d'augmenter le débit et qui donnent lieu très souvent à de graves mécomptes.

Enfin, le problème le plus fréquent consiste à rechercher des eaux souterraines dans les endroits où elles ne sont pas directement observables. C'est alors que l'on doit s'efforcer de suivre l'eau dans son parcours, depuis les lieux d'alimentation des nappes jusqu'aux écoulements naturels pour en déduire les chances qu'on peut avoir de rencontrer ces nappes au moyen de puits ou galeries.

Les bases principales des problèmes de recherche d'eau souterraine, sont les suivantes :

a) *L'alimentation* plus ou moins directe des nappes par les eaux météoriques.

b) *La perméabilité* du sol, c'est-à-dire la plus ou moins grande facilité de pénétration et de circulation de l'eau.

c) *La position* absolue et relative des terrains capables de se laisser traverser par l'eau.

d) *La position des points naturels d'écoulement* et celle qu'on doit donner aux orifices artificiels à créer pour extraire l'eau contenue dans le sol.

e) Le *volume* total de l'eau utilisable constituant la réserve souterraine.

En un mot, il faut le réservoir, dans une situation telle qu'il puisse recevoir l'eau, que celle-ci puisse y circuler et s'y accumuler en quantité déterminée, et qu'enfin, il existe ou qu'on puisse créer des orifices de puisage.

Si une quelconque de ces conditions capitales vient à manquer, il n'y a pas d'eau souterraine utilisable, au moins d'une façon permanente.

---

## NOTE

—

Dans les figures de ce volume, les parties hachurées indiquent les couches imperméables et les lignes ponctuées les niveaux hydrostatiques.

# PARTIE THÉORIQUE

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### PERMÉABILITÉ

**1. Définition.** — En physique, on dit qu'un corps est perméable, quand il se laisse pénétrer et traverser par les liquides. Cette propriété variant d'ailleurs dans des limites extrêmes avec les corps eux-mêmes, aussi bien qu'avec les liquides considérés. En hydrologie, le liquide est invariable, mais les terrains intéressés présentent toutes les valeurs possibles de perméabilité.

Les roches <sup>(1)</sup> les plus serrées et les plus homogènes, contiennent toujours une quantité d'eau, souvent très sensible, retenue par capillarité dans les interstices des éléments minéralogiques. C'est ce qu'on appelle l'eau d'imbibition, de carrière ou hygroscopique.

---

(1) Le mot *roche* est pris ici dans son sens géologique le plus large, abstraction faite de l'idée de dureté attachée à ce mot dans le langage usuel.

Delesse a dosé l'eau ainsi contenue dans un grand nombre de roches ; les résultats suivants, extraits de son travail (1), montrent les limites dans lesquelles peut varier cet état hygroscopique.

*Poids de l'eau 0/0 de la roche humide*

Argile enveloppant les meulières de Meudon . . . . .	24,5
Calcaire grossier à milliolites . . . . .	23,4
Argile plastique de Vaugirard. . . . .	23,2
Craie blanche. . . . .	20,6
Calcaire grossier dur . . . . .	3,0
Gneiss très micacé et friable . . . . .	3,0
Gypse. . . . .	1,5
Silex meulière . . . . .	1,1
Granite à gros grain de Semur . . . . .	0,4
Silex de la craie de Meudon . . . . .	0,1

Cette eau a pénétré et est retenue dans des espaces extrêmement petits par la capillarité, elle ne peut en être extraite que dans des conditions spéciales, naturelles ou artificielles, de pression ou de température ; il n'est pas, par suite, possible de l'utiliser, elle échappe donc, pour cette raison, en partie à notre sujet. Cependant, l'eau hygroscopique joue un rôle important dans la circulation par infiltration, et, en outre, sa stagnation relative dans les roches lui permet de les attaquer plus sûrement, quand cela est

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2<sup>e</sup> série, t. XIX, p. 64.

d'ailleurs possible. Nous ne devons néanmoins regarder comme réellement perméables, au point de vue pratique, que les roches ou terrains qui, dans leur ensemble, peuvent contenir plus d'eau que l'eau de carrière. Cela se produit dès que les interstices, entre les éléments, acquièrent une section suffisante pour que la capillarité perde une partie de sa force, au profit de la pesanteur.

La perméabilité des terrains est très souvent l'objet de vives polémiques ; les uns envisagent exclusivement les roches élémentaires, et d'autres voient, au contraire, l'ensemble d'une formation dont les éléments, imperméables par eux-mêmes, laissent cependant entre eux des espaces suffisants pour que l'eau puisse circuler.

C'est ainsi, par exemple, qu'on a souvent discuté la question de savoir si la craie pouvait être considérée comme une roche perméable, parce qu'elle est seulement hygroscopique et imperméable par elle-même, mais laisse circuler l'eau dans les fissures qui la subdivisent en fragments plus ou moins gros.

Il n'y a là évidemment qu'une question de mots et cela prouve seulement qu'il faut toujours bien préciser les conditions spéciales des terrains considérés. Tout le monde est d'accord dans le fond.

En hydrologie, on doit envisager, non seulement la perméabilité propre des roches, mais

encore et surtout celle des terrains et formations dans leur ensemble, en étudiant les canaux qui y existent, qu'ils soient d'ailleurs essentiels ou accidentels, localisés ou généralisés. S'il n'en était ainsi, on ne devrait regarder comme perméables que les terrains détritiques et sableux; mais on pourrait alors exagérer le raisonnement et dire que l'ensemble n'est pas perméable parce que les très petits éléments de ces sables étant individuellement imperméables, l'eau passe uniquement dans les espaces libres qui les séparent.

Pour toute roche considérée dans son ensemble, il est ordinaire de rechercher quel est le rapport du vide au plein, c'est-à-dire quel est, dans un volume donné, celui des vides pouvant contenir de l'eau<sup>(1)</sup>. Mais pour que celle-ci puisse être utilisée, ou plutôt extraite, il faut qu'elle circule plus ou moins librement dans les cavités qui la contiennent. C'est donc cette facilité de circulation qui est la véritable caractéristique pratique de la perméabilité.

---

(1) Il n'y a, bien entendu, à considérer ici que les vides ayant, entre eux, des communications continues et formant, par conséquent, des véritables canaux. Les cavités bulleuses, sans issues, si fréquentes dans certaines roches, contiennent souvent des liquides, et en particulier de l'eau, mais cela n'empêche pas la perméabilité d'être quelquefois nulle.

L'étude des conditions de la circulation des eaux dans les différents terrains et, en particulier, dans les sables a été l'objet de nombreux calculs et d'expériences variées. Darcy et Dupuit, entre autres, ont déterminé les lois de l'écoulement de l'eau dans un grand nombre de conduits et de terrains homogènes, et ont ensuite cherché à les appliquer aux conditions naturelles du sol.

Les parois des conduites opposent, par frottement, des résistances parfois considérables à la vitesse d'écoulement de l'eau. Le débit d'une conduite, c'est-à-dire la quantité d'eau qui peut y passer dans un temps donné, sous une charge donnée, est loin d'être proportionnel à la section ; il décroît beaucoup plus vite que celle-ci. La résistance à l'écoulement atteint rapidement, ainsi, une valeur suffisante pour contrebalancer complètement la pesanteur ; la capillarité acquiert alors toute sa valeur.

La nature et l'irrégularité des parois des canaux augmentent aussi dans une forte mesure la résistance à l'écoulement.

Le rapport du vide au plein dans une roche est donc tout à fait insuffisant pour donner la valeur de la perméabilité.

Si on envisage, en effet, comme on le fait ordinairement quand il s'agit d'étudier les questions de filtration, deux conduites égales comme section et comme longueur, remplies

de sphères de même volume pour chacune d'elles, mais différents de l'une à l'autre, la première conduite en contenant un petit nombre de grand diamètre et la seconde étant, au contraire, remplie de toutes petites en nombre considérable, il est facile de calculer que les volumes totaux des vides et des pleins sont égaux dans les deux cas et que le rapport unique du vide au plein est de 26 %.

La résistance éprouvée par l'eau qui circule dans ces deux conduites est faible avec les grosses sphères et acquiert, au contraire, avec les petites, une très grande valeur, pouvant même amener l'arrêt complet de l'écoulement.

Pour les conduites ordinaires, on est arrivé à déterminer assez exactement la valeur du coefficient de résistance pour les différentes sections et matières employées. Il était tentant d'appliquer les formules mathématiques à l'écoulement de l'eau dans les roches ; la plupart des spécialistes s'y sont efforcés ; malheureusement, en admettant que l'on puisse arriver à des résultats approchés, quand il s'agit d'étudier la valeur filtrante d'une couche peu épaisse de sable de composition homogène bien déterminée, cela est absolument impossible quand on se trouve en présence des roches et terrains dans leur situation naturelle. Les principaux éléments du problème manquent ;

les formules sont toujours justes, mais elles sont inapplicables parce qu'on ne peut substituer aucun nombre raisonnable aux lettres de celles-ci.

Dans la nature, le sable sphérique théorique n'existe jamais ; l'égalité absolue des éléments est l'exception ; les vides entre les gros fragments sont généralement remplis par de plus petits dont la forme et le volume varient à l'infini ; enfin, étant donné qu'en hydrologie on doit considérer des formations généralement fort étendues, les caractères plus ou moins visibles dans les parties accessibles sont souvent très différents dans la profondeur.

#### DIVERS TYPES DE ROCHES

Si on examine les différentes roches au point de vue de la perméabilité, telle qu'elle vient d'être définie et abstraction faite de leur composition minéralogique ou chimique, ainsi que des modifications que la circulation des eaux peut apporter à leurs propriétés, on voit qu'elles peuvent être groupées en un très petit nombre de types généraux. Chacun d'eux présentant une gamme infinie qui permet de passer insensiblement de l'argile la plus plastique aux roches largement brisées, dans les fractures desquelles

l'eau circule presque aussi facilement qu'à l'air libre.

**2. Argiles.** — L'argile est à juste titre regardée comme le type de la roche imperméable ; elle absorbe et retient cependant une très forte proportion d'eau dans un milieu humide. Elle peut la perdre plus ou moins lentement, quand elle est exposée à l'air sec ; dans ce cas, elle présente le phénomène du retrait, elle se fendille ; des fractures de plus en plus profondes et larges la divisent en blocs pseudo-géométriques. Les fentes ainsi formées sont capables d'absorber un certain volume d'eau qui imbibe à nouveau l'argile, qui se trouve alors près de la surface du sol, alternativement saturée d'humidité ou desséchée. Dans la profondeur, l'argile contient presque toujours le maximum d'eau hygroscopique.

Les argiles pures, dont la composition varie dans de grandes proportions, sont souvent associées aux sables, soit qu'il y ait mélange intime, soit que, dans l'ensemble d'un terrain, il y ait une succession de lits plus ou moins épais de ces deux roches. Dans l'un ou l'autre cas, la perméabilité, ou plutôt l'imperméabilité de l'argile est fortement modifiée ; quand le sable est grossier et disposé en lits rapprochés, la circulation de l'eau peut devenir assez libre.

**3. Sables et Graviers.** — Le sable est le

type généralement admis de la roche perméable ; peu présentent cependant, à ce point de vue, une aussi grande variété.

Quand les éléments sont exclusivement formés de minéraux durs, il laissent entre eux des espaces vides assez nets, mais pour que ceux-ci aient une dimension suffisante, il faut que les éléments aient eux-mêmes une certaine dimension, si non, ils présentent, comme on l'a vu précédemment, une telle résistance au passage de l'eau que le sable est pratiquement imperméable.

Si les éléments sont gros, on arrive au type gravier, qui offre le maximum de perméabilité, grâce, non seulement à la dimension des vides, mais encore à leur libre accès pour l'eau qui les nettoie d'autant plus facilement que la vitesse d'écoulement est plus grande.

La forme des éléments du sable a une très grande importance ; les grains roulés donnent à volume égal des vides plus grands que les minéraux cristallisés ou les grains fragmentés ; ceux-ci, pouvant souvent s'enchevêtrer de façon à laisser entre eux des espaces libres extrêmement réduits. Dans ce dernier cas, en outre, l'irrégularité et les dimensions variées sont causes du remplissage des interstices, la perméabilité est alors généralement plus faible.

Enfin, les sables sont très fréquemment

associés aux argiles ; celles-ci, enrobant les grains sableux et remplissant les vides, peuvent, même en faible proportion, annuler complètement la perméabilité naturelle. Un sable un peu fin, contenant seulement 5 % d'argile peut être aussi imperméable que l'argile elle-même ; il est capable de retenir par capillarité une très forte proportion d'eau, mais l'écoulement est absolument impossible.

Ces deux types de roches, si opposés au point de vue de la perméabilité, quand ils sont purs, se rapprochent souvent en pratique, sous l'influence de mélanges mutuels en proportions multiples. Les désignations sommaires et vagues des sables argileux et d'argiles sableuses employées par les carriers et les puisatiers expriment bien la grande variété de composition des roches rencontrées et l'impossibilité qu'il y a à préciser la prédominance de l'un ou l'autre des éléments. Le simple aspect d'une roche, surtout quand elle est encore humide, étant des plus trompeurs à cet égard.

**4. Tourbe.** — Les terrains tourbeux ne sont pas à proprement parler perméables et rentrent d'ailleurs assez bien dans la catégorie des argiles impures, mais ils sont capables d'absorber une quantité d'eau considérable et de la rendre, soit au sol par compression, soit à l'atmosphère par évaporation. Les tourbes fonctionnent

comme régulateur de l'écoulement des eaux. C'est à ce titre qu'elles sont mentionnées.

**5. Roches compactes.** — Au point de vue spécial envisagé ici, il faut comprendre dans le groupe des roches compactes, la plupart des roches solides qui entrent dans la constitution de l'écorce terrestre quels que soient d'ailleurs, leur âge, leur origine ou leur composition ; l'aspect ou plutôt l'état physique étant seul à considérer.

On a vu plus haut que toutes les roches, même les plus compactes contiennent toujours une quantité d'eau de carrière assez notable, mais celle-ci étant retenue dans les vides par capillarité, la circulation y est sinon nulle, du moins des plus réduites ; il faut pour l'obtenir dans ce cas, des conditions spéciales de pression et agir sur des couches peu épaisses, c'est précisément ce qui arrive quand on veut employer certaines roches poreuses comme matière filtrante.

Ces roches n'en sont donc pas moins imperméables par elles-mêmes, mais peuvent cependant le devenir en grand ou dans l'ensemble, quand elles présentent un nombre suffisant de fissures, fentes ou fractures, plus ou moins importantes qui la subdivisent en un grand nombre de blocs ou fragments. On dit alors que la roche est imperméable, mais que le terrain qu'elle constitue est perméable.

Les fractures qui divisent ainsi les roches présentent également une variété infinie, tant au point de vue des dimensions qu'à celui des causes qui les ont déterminées. La question d'origine a été l'objet de sérieux travaux ; Daubrée <sup>(1)</sup> a cherché à classer ces fractures suivant leurs caractères essentiels et leur origine, il divisait ainsi les *lithoclases* en *leptoclases*, *diaclasses*, *paraclasses*, groupes eux-mêmes subdivisés encore en plusieurs catégories. Il fit également des expériences classiques sur les fractures des roches par torsion.

M. Stanislas Meunier, a apporté à l'étude des plis et cassures du globe de savantes et très remarquables données expérimentales <sup>(2)</sup>.

L'étude et l'origine de ces fractures échappe en partie à notre sujet, nous devons uniquement considérer leurs dimensions, leur nombre et leurs directions ; c'est accessoirement seulement que la connaissance plus ou moins complète des conditions de formation et de modifications ultérieures, peut jeter quelque lumière sur les conséquences pratiques à en tirer, en permettant jusqu'à un certain point de prévoir quels sont les caractères des parties inaccessibles d'un

---

(1) DAUBRÉE. — *Les eaux souterraines*, t. I, p. 129.

(2) STANISLAS MEUNIER. — *La Géologie expérimentale*, Félix Alcan, Paris, 1889.

terrain dont on veut connaître la perméabilité ; nous aurons d'ailleurs à revenir sur ce sujet.

a) **Roches compactes fragmentées.** — La plupart des roches tendres sont fragmentées en un très grand nombre de petits blocs, sous l'influence combinée de la pression verticale des masses qui les surmontent, du retrait et des multiples causes naturelles du mouvement du sol, si faibles qu'elles soient.

Quand la roche est très friable et un peu plastique, grâce souvent à l'eau hygroscopique, les fissures sont plus ou moins remplies par les débris immédiats des parois, les conditions générales de perméabilité sont peu modifiées, il y a seulement augmentation du nombre des petits canaux.

Avec les roches dures, les parois ne s'effritent pas, les cassures sont nettes et restent plus ouvertes ; il suffit de faibles mouvements ou tassements ultérieurs, pour que ces canaux s'élargissent assez afin que l'eau puisse circuler librement.

La plupart des terrains calcaires sont ainsi fissurés et, parmi ceux-ci, il faut citer comme exemple caractéristique, les divers étages de la craie. La roche, très hygroscopique est par elle-même imperméable, mais est toujours traversée par une innombrable quantité de fissures plus ou moins rapprochées et très variables comme

dimensions. La nature très différente des diverses craies au point de vue de la dureté et de la teneur en argile, facilite ou empêche, suivant les cas, le remplissage des canaux. Il résulte de ces conditions diverses que cette roche peut présenter dans l'ensemble une variété infinie de perméabilité.

A côté des fissures ou fractures transversales, il faut citer également comme canaux souterrains les lignes séparatives des divers bancs dans les terrains sédimentaires ; elles peuvent, comme les fissures être remplies de matériaux détritiques, mais, dans beaucoup de cas, au contraire, elles sont librement ouvertes.

b) **Roches compactes traversées par de larges fractures.** — Les roches très compactes ou dures, telles que les granites, les grès siliceux, certains calcaires, etc., se présentent généralement en masses considérables, justement appréciées pour l'exploitation. Leur dureté et surtout leur cohésion leur ont permis de résister en partie aux multiples causes de rupture qui ont subdivisé les roches plus friables. Cependant, elles ont dû subir l'influence des efforts géodynamiques qui y ont déterminé des fractures peu nombreuses, mais le plus souvent d'autant plus importantes qu'elles sont plus localisées.

Ces canaux sont généralement larges, intéressent l'épaisseur totale, non seulement d'une

formation, mais même aussi de plusieurs ; leur orientation est souvent uniforme ou appartient à un réseau simple.

Les dimensions sont telles que l'eau peut circuler aussi librement que dans des conduites artificielles et y obéit aux mêmes lois hydrauliques, impossibles à calculer d'ailleurs faute de connaître les éléments numériques de ces canaux. Quoi qu'il en soit, les terrains ainsi parcourus par de larges fractures ne peuvent être regardés comme imperméables, ils sont encore perméables en grand.

#### CAS SPÉCIAUX DE GRANDE PERMÉABILITÉ

**6. Abîmes, puits naturels, grottes, cavernes, etc.** — On connaît, dans le sol, l'existence de nombreuses cavités naturelles, désignées suivant leur importance, leur forme et leur position par rapport au niveau du sol et aussi, suivant les pays, sous les noms de *poches*, *puits naturels*, *abîmes*, *avens*, *bîmes*, *aiguigeois*, etc. A côté de ces excavations, il existe le plus souvent dans les mêmes régions des cavités, cavernes, grottes ou chambres naturelles, dont les dimensions, des plus variables, peuvent n'avoir que quelques mètres cubes ou atteindre le volume de vastes salles, ainsi que cela arrive par

exemple, pour les célèbres grottes du Mammoth, de Han, de Dargilan, etc. Les exemples connus deviennent de plus en plus nombreux, grâce aux patientes et courageuses recherches des spéléologues qui se sont lancés dans la voie si bien tracée par M. Martel.

Ces cavités ne sont jamais isolées, elles sont presque toujours en relation avec des canaux allongés qui, souvent, réunissent une série de chambres situées au même niveau ou étagées les unes au-dessus des autres. Dans bien des cas, on peut reconnaître la trace de longs canaux souterrains réunissant ainsi deux excavations superficielles éloignées souvent de plusieurs kilomètres. L'exploration directe de cette communication n'est qu'exceptionnellement possible, mais on peut avoir une idée de l'importance et des dimensions des canaux souterrains, soit par le régime des eaux qui y passent, soit en introduisant dans l'orifice supérieur une certaine quantité d'une matière colorante intense.

Ces cavités existant dans les roches modifient considérablement la facilité de circulation des eaux dans celles-ci, il est évident qu'au sens propre du mot, elles peuvent être absolument imperméables; il y a même des chances pour que l'eau qui trouve un libre passage, n'ait précisément qu'une très faible circulation dans la roche elle-même. Cependant il n'en est pas

moins vrai que la perméabilité étant regardée comme l'expression de la facilité de circulation de l'eau dans un milieu déterminé, on passe insensiblement du vide très réduit compris entre les grains parfaitement imperméables du sable, à ces vastes canaux souterrains compris entre d'immenses masses de roches souvent plus perméables elles-mêmes que les grains de ce sable.

Les terrains traversés par des puits naturels, fractures et cavités dans lesquels l'eau souterraine peut circuler librement d'une façon quelconque, doivent donc, eux aussi, être considérés comme perméables.

On doit seulement, dans l'application, tenir compte des conditions de cette circulation pour en tirer les conclusions nécessaires à l'utilisation des eaux, tant au point de vue de la qualité qu'à celui de la quantité.

Les cavités naturelles du sol peuvent être entièrement libres ou, au contraire, remplies plus ou moins complètement de matériaux détritiques provenant de l'éboulement de roches supérieures ou de minéraux déposés par les eaux elles-mêmes.

La nature de ces matériaux de remplissage, ainsi que leur cohésion modifient naturellement la facilité de passage laissée à l'eau. Certains canaux, très libres à une époque antérieure, peuvent ainsi être remplis de sables

argileux ou d'argiles compactes, ils deviennent alors plus imperméables que la roche elle-même.

Les larges canaux souterrains, peuvent, s'ils sont à une grande profondeur au-dessous du niveau de l'eau qui les remplit, être soumis à des pressions considérables qui ne sont plus annulées par des résistances ou pertes de charge. Il en résulte une plus grande facilité pour passer dans de petits conduits situés en aval.

Ces eaux sont aussi capables dans certaines conditions de donner lieu à de véritables ruptures mécaniques.

D'autres fois l'eau n'occupe qu'une partie de la section des cavités souterraines elle coule sur les parois des conduits verticaux ou sur le seuil des grottes, cavernes ou canaux plus ou moins horizontaux. C'est le cas de beaucoup de cours d'eau cachés.

Nous n'avons pas pour le moment à envisager l'étude de la formation de ces larges cavités souterraines ; il nous suffit d'en constater l'existence pour les utiliser ou les éviter suivant les cas. On verra plus loin qu'elles ont toujours avec la circulation des eaux un rapport intime et double, celle-ci étant le plus souvent la cause de leur formation ou tout au moins de leur accroissement ; et étant d'autant plus active que celles-là sont plus larges.

La formation et l'accroissement des cavités souterraines ont été l'objet de nombreuses études générales dont on trouvera la trace dans tous les traités de géologie. Le lecteur devra en outre se reporter aux travaux spéciaux publiés sur cette matière et en particulier à ceux de Dupont (1), Daubrée (2), Martel (3).

M. Stanislas Meunier (4), a fait une série d'expériences de laboratoire reproduisant dans leurs moindres détails la plupart des traits caractéristiques des poches, avens, fissures élargies, grottes, etc.

#### MODIFICATIONS TEMPORAIRES ET ACCIDENTELLES DE LA PERMÉABILITÉ

Dans le sol, le degré de perméabilité des terrains et des roches qui le composent ne peut subir de modifications temporaires importantes; tout au plus, la circulation plus ou moins variable de l'eau dans certains canaux peut-elle

(1) DUPONT. — *Explication de la carte de Dinant*. Bruxelles 1883.

(2) DAUBRÉE. — *Les Eaux Souterraines*. Paris, Vve Ch. Dunod, 1887.

(3) MARTEL. — *Les Abîmes*, Paris, 1894.

(4) Stanislas MEUNIER. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. 29 mars 1875, 10 juillet 1876 et 26 février 1894. — *La Géologie expérimentale*, Paris, F. Alcan, 1899.

amener des obstructions accidentelles, permanentes ou passagères par dépôts locaux de matériaux entraînés. Les dépôts chimiques, et les incrustations calcaires quelque rapides qu'ils soient ne peuvent pas, dans les cas ordinaires qui nous intéressent, amener d'obstructions rapides.

A la surface du sol, il en est tout autrement ; les modifications que peut subir la perméabilité sont fréquentes et généralement très rapides.

**7. Augmentation de la perméabilité.** — A la suite de longues périodes de sécheresse, des limons ou argiles superficiels normalement peu ou point perméables, se fendillent ; l'humidité et même la pluie pénètrent dans les fissures et peuvent, si la couche est faible, atteindre directement une roche perméable sous-jacente, ayant d'avoir eu le temps d'imbiber à nouveau la couche superficielle.

**8. Diminution de la perméabilité.** — Les eaux de ruissellement superficiel entraînent toujours avec elle des débris de roches supérieures et, en particulier, des éléments argileux fins qui s'infiltreront dans les couches perméables et en bouchent plus ou moins les canaux. Le phénomène est tellement général que la surface du sol est presque toujours beaucoup moins perméable que les parties plus profondes. Il en est de même, à plus forte raison, du lit de la plupart des

cours d'eau qui est colmaté par les limons charriés de l'amont.

Parmi les causes accidentelles et temporaires qui rendent imperméable la surface du sol, il faut, en première ligne, citer la gelée survenant après une période humide. Le sol étant imprégné d'eau sur une certaine hauteur, quand celle-ci gèle, l'imperméabilité est absolue et dure tant que le dégel n'atteint pas les parties les plus profondément solidifiées. Après les grands hivers, les eaux du printemps sont généralement perdues pour les nappes, elles ne rencontrent partout et pendant longtemps que des terrains imperméables (1).

Enfin, l'eau elle-même peut donner lieu à une imperméabilisation relative de la surface du sol, quand elle tombe avec une vitesse telle que la pénétration ne peut plus se faire dans des roches dont toutes les cavités sont remplies, et d'où l'écoulement se fait avec un débit relativement réduit.

---

(1) Pour la même raison, la neige, si utile à l'agriculture, a un rôle différent suivant qu'elle tombe avant ou après la gelée. Avant, elle protège le sol contre celle-ci, pénètre au dégel dans les terrains perméables et gagne les nappes; après, elle s'écoule superficiellement sur le sol devenu imperméable et qui ne peut dégeler que quand toute la neige est partie et, par suite, perdue.

## CHAPITRE II

### EAUX SOUTERRAINES

#### NAPPES

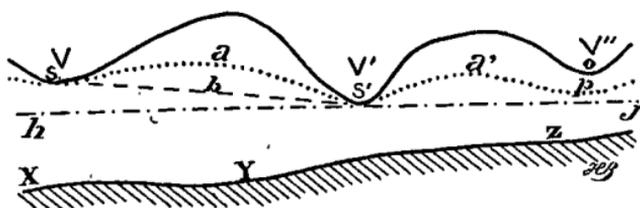
**9. Nappes souterraines. Niveau hydrostatique.** — Quand les diverses conditions qui permettent la pénétration de l'eau dans le sol s'y prêtent, c'est-à-dire quand la perméabilité du terrain, d'une part, et le volume ainsi que la vitesse d'écoulement des eaux météoriques, d'autre part, sont dans des rapports mutuels convenables, ces eaux descendent et constituent dans le sol l'eau d'infiltration ; elles sont à partir de ce moment, soustraites à l'évaporation et au ruissellement et rentrent dans la catégorie des eaux souterraines.

Dans une couche perméable, l'eau d'infiltration soumise aux influences de la pesanteur et de la capillarité, descend dès que la première de ces forces est prépondérante, elle ne peut être arrêtée que par une couche imperméable.

L'eau s'accumule dans les parties libres de la roche, au-dessus du support imperméable et s'élève jusqu'à un certain niveau qui est fonction des volumes relatifs du liquide et des vides du terrain, des dispositions générales de celui-ci et de la hauteur des points d'écoulement.

Envisageons ce qui se passe dans les parties libres d'un terrain perméable. Soit, comme le montre en coupe la *fig. 1*, un ensemble per-

Fig. 1



méable au-dessus d'une couche imperméable XYZ. L'eau d'infiltration descend librement et remplit à la base, toutes les cavités du terrain, au-dessus de cette couche, s'élève tant que l'alimentation continue et que les points d'écoulement *s* et *s'* ne sont pas atteints, dans les vallées *V* et *V'*; elle dépasse ensuite ces niveaux, d'une hauteur d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que les points considérés sont plus éloignés de ces écoulements. Il existe ainsi un certain niveau *sas'* au-dessus duquel il n'y a plus, dans la zone perméable, une seule fissure

ou cavité, grande ou petite qui ne soit remplie d'eau ; c'est le cas de la portion de terrain, comprise sur la coupe, entre les lignes *sas'* et XYZ. 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. La ligne *sas'* projection de cette surface sur le plan de la figure représente le *niveau hydrostatique*. 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. Quelques auteurs refusent ce nom aux eaux contenues dans les fissures ou fractures plus ou moins considérables de certains terrains, parce que celles-ci sont souvent très écartées les unes des autres. Il s'agit d'une discussion analogue et découlant directement, d'ailleurs, de celles qui sont relatives aux questions de perméabilité (§ 1) ; mais pour les mêmes raisons, développées à cette occasion, étant donné qu'on passe graduellement des canaux microscopiques aux plus larges fractures, il parait préférable de généraliser l'emploi du mot *nappe* (1).

---

(1) Ce mot, quoique classique pour les eaux souterraines, ne pourrait strictement s'appliquer qu'aux

La situation et la circulation des eaux ainsi réunies dans le sol varient suivant la nature et la disposition des terrains qui les contiennent ainsi qu'avec la position des points d'alimentation et d'écoulement; il en résulte, dans la nature, une infinité de cas particuliers qui, examinés individuellement, semblent compliquer le problème et rendre toute étude d'ensemble impossible. On peut, cependant chercher à grouper la plupart de ces espèces et les réunir en un petit nombre de types caractéristiques; c'est ce que j'ai essayé de réaliser dans les paragraphes suivants.

**10. Nappes libres.** — Le cas de la *fig. 1* est le plus général et surtout le plus simple, c'est celui d'une nappe dans un terrain de perméabilité uniforme, l'eau d'infiltration s'élève jusqu'au niveau hydrostatique et donne lieu à des écoulements naturels (<sup>1</sup>).

L'eau qui se rend à la nappe, n'est arrêtée dans sa descente, par aucune couche imperméable, l'alimentation se fait librement par toute la surface et le niveau peut s'élever ou s'abaisser sans entraves, suivant les fluctuations de cette ali-

---

masses liquides superficielles ou à celles qui, dans le sol, circulent dans d'immenses canaux, constituant ainsi de véritables nappes; ce qui irait précisément à l'encontre des objections généralement formulées.

(<sup>1</sup>) Verstraeten a déjà employé l'expression de couche aquifère libre.

mentation. La désignation de *nappe libre* parait donc bien appropriée à ce cas.

Les puits ordinaires, creusés en un point quelconque du sol peuvent toujours atteindre cette nappe, à une distance d'ailleurs très variable; Daubrée l'avait, pour cette raison, nommée *phréatique*, mais les progrès de l'industrie ayant permis de faire des puits qui traversent en les isolant, des nappes superposées, il est préférable d'avoir une désignation basée sur la manière d'être de l'eau dans le sol. Delesse avait employé l'expression beaucoup trop vague de *nappe d'infiltration*; toutes les eaux souterraines proviennent plus ou moins directement de l'infiltration. Enfin on dit encore souvent, dans ce cas, *nappe superficielle*, qualificatif qui peut amener des confusions étant donnée la grande distance qui sépare souvent le sol du niveau de cette nappe.

L'eau en pénétrant dans le sol éprouve au passage dans les vides, une certaine résistance; si celle-ci était nulle, la surface supérieure de la nappe serait presque plane, le niveau hydrostatique serait représenté sur la figure par une courbe très aplatie, rejoignant les affleurements  $s, s'$ . Mais si la résistance est grande, comme cela est le cas le plus général, il en résulte un retard de l'écoulement; le niveau hydrostatique forme, avec la ligne  $ss'$  joignant les points d'écoulement, une flèche  $ab$  qui, toutes choses égales

d'ailleurs donne précisément la valeur inverse de la perméabilité du terrain.

Si l'alimentation cessait et si la capillarité n'exerçait pas son influence, le niveau se rapprocherait de la droite  $ss'$ , et la flèche  $ab$  deviendrait nulle, mais cela ne se présente presque jamais dans la nature, il y a seulement d'importantes variations. Quand les apports d'eau d'infiltration sont grands, la flèche  $ab$  augmente, le niveau hydrostatique se rapproche du sol. Les fluctuations sont d'autant plus fortes, dans un terrain donné, que le point considéré est plus éloigné des points d'écoulement. Dans les puits des plateaux à de grandes distances des vallées, il n'est pas rare de constater des variations de niveau de plus de 15 mètres, alors que dans les mêmes conditions, les modifications atteignent à peine quelques décimètres dans les puits voisins des écoulements.

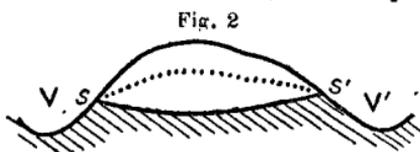
*a) Nappes libres à support profond.* — Dans l'exemple précédent, la couche imperméable qui supporte la nappe est au-dessous du fond des vallées; toute l'eau qui a pénétré dans le sol du plateau, entre  $V$  et  $V'$ , s'écoule en partie par les sources de la vallée  $V$  et surtout par celles de la vallée  $V'$  située plus bas. Or, le fond imperméable qui peut être à une très grande profondeur est supposé incliné en sens inverse de l'écoulement principal de la nappe.

La position du support imperméable de la nappe libre n'a dans ce cas aucune influence sur la direction de l'écoulement de l'eau ni sur la position des points d'émergence qui dépendent uniquement du relief du sol.

Quand la couche imperméable est à une grande profondeur au-dessous des points d'écoulement, le volume total de l'eau de la nappe est généralement considérable et son mouvement est loin d'être régulier, il atteint un maximum dans les parties supérieures ; les sources  $s$  et  $s'$  sont plus directement alimentées par les dernières eaux tombées qui renouvellent les parties superficielles de la nappe. Au-dessous de ces points, il peut exister de véritables dormants où le renouvellement est très faible ou même nul. Cette différence de circulation a une très grande importance au point de vue de la qualité de l'eau prise, dans une même nappe, à diverses profondeurs.

*b) Nappes libres à support élevé.* — Quand la couche imperméable qui supporte la nappe est au-dessus du fond des vallées et est, par suite, visible en affleurements sur les flancs de celles-ci ; les conditions générales d'alimentation sont les mêmes ; le niveau hydrostatique et la flèche ont, toutes choses égales d'ailleurs, la même valeur, mais les points de déversement ne sont plus nécessairement au fond des thalwegs. La

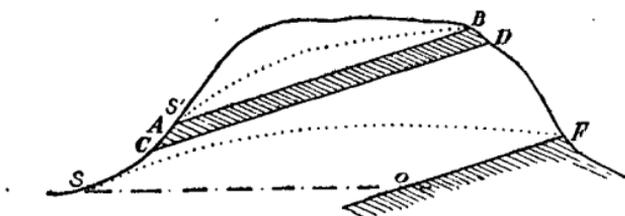
*fig. 2* montre une nappe de ce type. La position des sources et la direction des écoulements sont déterminées uniquement par la position et la direction du support.



Les nappes de ce type sont relativement moins importantes que les précédentes, comme puissance, mais elles sont peut-être beaucoup plus nombreuses et, en tous cas, bien plus connues à cause des sources nettement visibles qu'elles alimentent. On les désigne aussi très souvent sous le nom de nappes libres.

**11. Nappes subordonnées.** — Si, dans le cas précédent, la couche imperméable est peu épaisse et surmonte un terrain perméable, comme l'indique la *fig. 3*; il peut exister dans

Fig. 3



celui-ci une nappe dont l'alimentation est faite en partie par infiltration directe comme pour une nappe libre et en partie par déversement de la nappe supérieure. Dans l'exemple choisi, l'a-

limentation directe se produit de C à s et de D à F il faut y ajouter en C et en D le déversement des eaux de la nappe libre supérieure qui ruissellent sur les flancs de la colline, au contact de la roche imperméable, depuis A jusqu'à C et de B à D.

La *nappe subordonnée* ainsi formée peut encore se présenter dans les mêmes conditions que la nappe libre, par rapport à la position de son propre support imperméable, suivant que celui-ci est au-dessous ou au-dessus du fond des vallées. Sur la figure, le support est inférieur à gauche et supérieur à droite.

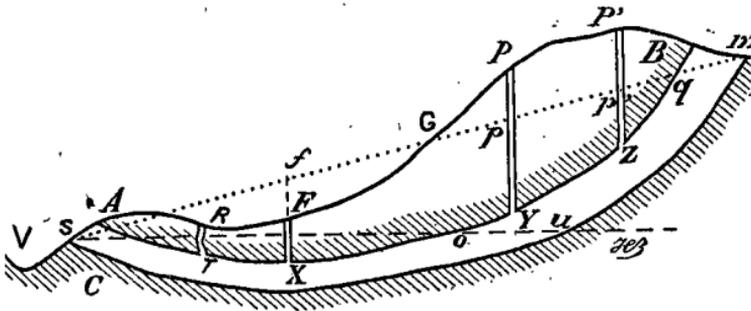
La superposition de plusieurs nappes subordonnées est fréquente.

**12. Nappes captives.** — Dans les cas précédemment examinés, l'eau ne remplit que les cavités inférieures des terrains perméables, sur une hauteur qui peut, il est vrai, être considérable, mais, si le volume augmente, le niveau hydrostatique peut s'élever librement dans les cavités supérieures restées libres, aucun obstacle matériel ne s'oppose à cette ascension.

Quand le terrain perméable est compris entre deux couches imperméables suffisamment rapprochées l'une de l'autre et que le volume total de l'eau est tel que toutes les cavités de la roche sont remplies, la nappe n'ayant d'issues que latéralement et dans les points bas, ne peut s'élever au-dessus du toit ; cette *nappe* est *captive*.

La *fig. 4* montre une nappe captive emprisonnée entre deux couches imperméables AB et CD. La surface supérieure de la nappe, est déterminée, comme forme et comme position, uniquement par celles de la surface inférieure de la couche imperméable supérieure AB. Si, dans ce dernier terrain et dans ceux qui le surmontent il existe une ouverture libre quelconque : fracture naturelle ou forage, l'eau s'élève dans ce conduit jusqu'à un certain niveau qui dépend de la position des points d'affleurement de la nappe et de ceux des couches qui la contiennent ; ce niveau est tout à fait indépendant de la position

Fig. 4



et de la profondeur de la nappe, ainsi que de celles de ces terrains à la base du conduit.

Si les points extrêmes d'émergence de la nappe sont au même niveau, il est évident, qu'en vertu du principe des vases communicants, l'eau s'élèvera jusqu'à ce niveau, en admettant bien entendu que l'on fasse abstraction des pertes qui

se produisent toujours dans la traversée des couches supérieures et en supposant aussi qu'il existe au-dessus du sol un conduit artificiel suffisamment haut.

Cette égalité de niveau entre les affleurements extrêmes est l'exception ; dans la plupart des nappes captives, l'écoulement se fait de préférence vers une ligne d'affleurement beaucoup plus basse que d'autres. Dans l'exemple choisi, l'alimentation a lieu entre B et D et l'écoulement en *s*. La droite *sm* donne théoriquement le niveau hydrostatique ou piézométrique de la nappe captive. Si un forage est fait en P ou P', dans une partie où la surface du sol est supérieure au niveau hydrostatique, l'eau s'élèvera et se maintiendra à ce niveau, soit respectivement en *p* et *p'*. Si le forage est fait en F, là où le niveau de la nappe dépasse le sol, il y a jaillissement.

M. Haton de la Goupillière<sup>(1)</sup> appelle *positive* la zone dans laquelle l'eau ainsi rencontrée est jaillissante, et *negative* celle dans laquelle elle se tient au-dessous du sol. Le point G est le point de passage d'une zone à l'autre.

J'ai cru devoir nommer *captives* les nappes de cette catégorie, bien que, dans la plupart des cas, elles soient désignées sous le nom de

---

(1) HATON DE LA GOUPILLIÈRE. — *Cours d'exploitation des Mines*, t. I, p. 145.

*nappes artésiennes* ; mais il est aussi d'usage, précisément dans le Nord, de ne considérer comme artésiennes que les eaux jaillissantes. Il semble donc nécessaire d'adopter une expression plus générale, se rapportant encore à la situation de la nappe et non au mode d'utilisation qui varie suivant l'altitude du lieu.

**13. Nappes sans issues.** — Le support imperméable d'une nappe peut être disposé en cuvette et l'eau se trouve, par suite, sans écoulement à partir d'un certain niveau. La cuvette ainsi formée peut n'être que la base d'une nappe ordinaire, d'autres fois, au contraire, par suite de la disposition spéciale des couches qui l'intéressent, toute l'eau est ainsi retenue au-dessous des orifices naturels d'écoulement.

Mais il arrive aussi que la nappe se trouve dans une couche perméable lenticulaire, comprise entre deux terrains imperméables qui se rejoignent autour d'elle. La nappe est alors *sans issues*, non seulement au point de vue de l'écoulement, mais aussi à celui de l'alimentation. L'eau peut être emprisonnée depuis de longues périodes géologiques, constituant ainsi une véritable nappe fossile. Elle peut aussi être accumulée à la suite d'une infiltration capillaire, des eaux supérieures à travers des couches enveloppantes n'ayant qu'une imperméabilité relative.

Dans le Nord de la France, les travaux de mine ont mis en évidence l'existence d'une nappe de cette nature, dans les couches graveleuses, attribuées comme âge au crétacé inférieur et comprises dans une cuvette lenticulaire, entre les terrains primaires et les couches argilo-marneuses de la craie turonienne. Cette nappe est célèbre par les travaux d'épuisement qu'elle a nécessités dans les mines de houille, dont les puits l'ont traversée, en créant ainsi des issues artificielles à l'eau. Cette nappe, connue sous le nom de *torrent d'Anzin* a progressivement diminué d'importance et de surface, grâce aux épuisements énergiques des mines, et par suite de son défaut absolu d'alimentation.

**14. Cours d'eau souterrains.** — Les cours d'eau souterrains tiennent le milieu entre les nappes proprement dites et les cours d'eau superficiels et même ils se rapprochent souvent à un tel degré de ces derniers, au point de vue du régime, qu'il est bien difficile de les en séparer.

Les cours d'eau souterrains se présentent avec une variété infinie d'importance, suivant les dimensions des canaux dans lesquels ils s'écoulent, mais ces canaux ou conduits sont généralement horizontaux ou faiblement inclinés et ne sont qu'exceptionnellement remplis par

l'eau. Sinon, ils rentrent dans la catégorie des fractures ou conduits, très importants, mais normaux des nappes.

La perméabilité absolue des roches n'a plus ici qu'une importance très relative, étant données la quantité et la vitesse de l'eau qui s'écoule à leur contact.

Ces cours d'eau affectent, dans l'intérieur du sol, toutes les allures et subissent toutes les fluctuations d'alimentation et d'écoulement que nous aurons à étudier plus tard à propos des eaux superficielles.

Dans le sol, comme à la surface, la rivière peut couler sur un fond imperméable ou sur une roche perméable qui en absorbe une partie ou lui fournit, au contraire, un certain appoint d'alimentation, suivant que le lit est au dessus ou au niveau de la nappe contenue dans cette roche.

L'étude de ces cours d'eau souterrains peut donc être faite conjointement avec celle des cours d'eau superficiels ; sauf l'évaporation à laquelle sont soumises les eaux de ces derniers, tout ce qui sera dit sur leur régime pourra s'appliquer aux premiers. Je n'ai cependant pas pu me dispenser d'en faire ici une mention spéciale, car ce qui frappe à première vue dans l'examen de ces eaux, c'est précisément leur situation souterraine qui, dans bien des cas, n'est qu'accessoire.

**15. Forme et position de la surface hydrostatique.** — Dans toute nappe libre ou subordonnée, la surface hydrostatique, libre elle-même, est toujours convexe sous les plateaux et concaves au-dessous des vallées ou même des simples vallons ou dépressions superficielles. D'une façon générale, on peut dire que le profil de la nappe suit grossièrement celui de la surface du sol. Cependant, si la forme de la surface des nappes est ainsi, à peu près semblable à celle du sol, il n'y a ni coïncidence absolue entre les points hauts et les points bas respectifs, ni proportionnalité entre les hauteurs; il y a simplement variation dans le même sens.

La forme et la position de la surface hydrostatique dépendent essentiellement de la position des points d'écoulement et du degré de perméabilité du terrain dans ses différentes parties; quand cette perméabilité est constante, on observe une courbe très régulière de la surface entre deux points d'émergence opposés et cela, quelle que soit la forme de la surface du sol; c'est ce que l'on peut voir sur la *fig. 1* et mieux encore sur la *fig. 5*, qui reproduit la coupe transversale du plateau séparant les vallées de la Somme et de la Bresle.

Les deux vallées sont au même niveau à 7 mètres d'altitude; le plateau n'est pas symétrique; abrupt du côté de la Bresle, il est,

au contraire, en pente plus douce sur la Somme, suivant d'ailleurs assez régulièrement sur ce versant, l'inclinaison des couches géologiques. Le fond imperméable, constitué par les couches argilo-marneuses de la craie à *Terebratulina gracilis* n'affleure en aucun point ; au-dessus, les assises à *Micraster breviporus*, à *M. cor testudinarium* et à *M. cor anguinum*, affleurent sur le versant de la Bresle, la dernière, seule, étant visible sur l'autre. Ces trois formations

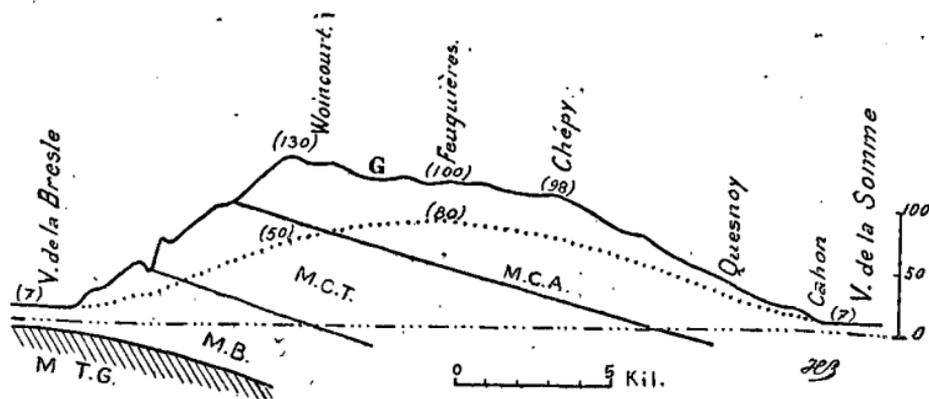


Fig. 5. — Coupe hydrologique entre les vallées de la Bresle et de la Somme

- M.C.A. Craie à *Micraster cor anguinum*.  
 M.C.T. " " *cor testudinarium*.  
 M.B. Craie à *Micraster breviporus*.  
 C.M. " *marneuse*.

sont identiques au point de vue de la perméabilité, la roche, formée de carbonate de chaux presque pur, est plus ou moins fine et franchement imperméable par elle-même, quoique contenant une grande quantité d'eau hydro-

scopique; mais de multiples fractures minuscules, peu ouvertes, divisent par craquellement cette immense masse de plus de 120 mètres de hauteur, en un nombre incalculable de petits fragments, séparés par un réseau ininterrompu de canaux dans lesquels circule l'eau.

Le sommet du plateau, vers la cote 130, n'est même pas au tiers de la distance qui sépare les deux vallées. Si maintenant on examine le profil de la nappe, relevé très exactement par l'observation des niveaux dans une série de puits de la ligne d'Abbeville à Eu, on voit que les deux points d'écoulement extrêmes étant à 7 m. d'altitude, la nappe atteint la cote 80 environ, sensiblement à la moitié de la distance des deux vallées. Pour arriver au point culminant du niveau hydrostatique, l'eau d'infiltration n'a à parcourir verticalement que 20 à 25 mètres, tandis que sous la crête topographique, elle doit, pour atteindre la nappe, descendre de 80 mètres environ.

Cet exemple, sur lequel nous aurons à revenir à propos de l'alimentation des nappes, montre donc nettement que la forme de la surface hydrostatique est relativement indépendante du relief du sol et dépend bien plus de la position des points d'écoulement de l'eau.

Les cas analogues sont nombreux et se rencontrent partout dans des régions calcaires et, en

particulier, dans la craie du Nord de la France. L'eau étant, dans ces terrains, rassemblée en masse continue dans des canaux ininterrompus, communiquant entre eux, on est bien alors en présence de véritables nappes souterraines. La régularité de la surface hydrostatique en est une preuve.

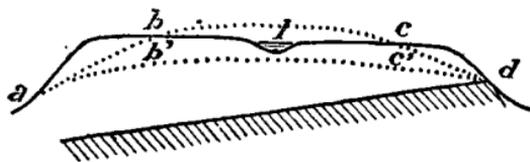
Si, pour une raison quelconque, la perméabilité de la roche au lieu de se présenter avec une homogénéité aussi remarquable que dans l'exemple précédent, était, au contraire, réduite ou augmentée dans certaines parties, ces différences se feraient sentir par des modifications du profil de la surface hydrostatique, puisque la hauteur de cette surface au-dessus des points d'écoulement donne, toutes choses égales d'ailleurs, la mesure inverse de la perméabilité du terrain (§ 10); la nappe doit donc être à un niveau d'autant plus bas que la perméabilité est plus grande et inversement.

L'augmentation locale de la perméabilité se produit, par exemple, quand il existe une fracture ou quelque grande ouverture exceptionnelle (§ 6).

Dans bien des cas, la surface des nappes libres est à une certaine distance du sol, elle peut même, comme dans l'exemple précédent, en être très éloignée. D'autres fois, il arrive que cette surface hydrostatique s'approche du sol,

qu'elle ne peut naturellement dépasser. Si on envisage ainsi (*fig. 6*) le cas d'une nappe libre à support profond ou visible et si on représente le niveau hydrostatique *abcd* déterminé uniquement par la position des points d'écoulement *a* et *d*, en admettant une perméabilité moyenne de la roche et une alimentation relativement abondante, on voit que ce niveau est au-dessous du sol, de *a* à *b* et de *c* à *d* et théoriquement au-dessus de *b* à *c*. On a ainsi, dans ces dernières limites, suivant le relief topographique,

Fig. 6



soit de larges surfaces marécageuses, soit enfin, si une dépression existe, un lac ou un étang de nappe *l*, n'ayant ni alimentation ni écoulement superficiels (<sup>1</sup>).

Si on envisage maintenant les fluctuations normales du niveau hydrostatique, sous l'influence des variations de l'alimentation naturelle, la courbure s'accroît ou s'aplatit. En cas

---

(<sup>1</sup>) Ces lacs ou étangs ne reçoivent directement que les eaux météoriques tombées sur leur surface et perdent uniquement ce que l'évaporation peut leur enlever.

de suralimentation, la zone *bc* peut embrasser la presque totalité du plateau. Quand l'eau baisse, au contraire, la surface *ab'c'd* est entièrement dans le sol ; le lac, après avoir progressivement diminué d'étendue, est complètement à sec.

Les parties de la surface du sol, ainsi influencées par les mouvements de la nappe, sont dans des conditions spéciales au point de vue de la vie animale et végétale ; elles sont éminemment propres au développement de la tourbe.

**16. Différence entre le niveau hydrostatique et le niveau de rencontre.** — Quand on creuse un puits ou un forage pour rechercher et utiliser une nappe, il arrive un moment où on rencontre la surface de l'eau. Dans le cas d'une nappe libre, le niveau reste stationnaire<sup>(1)</sup> ; si la nappe est captive, l'eau s'élève jusqu'au niveau piézométrique ou hydrostatique de la nappe.

Dans le premier cas, il y a toujours concordance entre le *niveau de rencontre* de l'eau et son niveau hydrostatique ; dans le second, ils peuvent être très différents.

Sur la *fig. 4*, on voit que les niveaux

---

(1) Je fais, pour le moment, abstraction des modifications que le puits lui-même peut apporter au régime de la nappe, soit par augmentation locale de la perméabilité du terrain, soit par mélange de nappes superposées.

hydrostatiques  $f, p$  et  $p'$  de l'eau, dans les forages ou puits F, P et P', sont liés par une loi commune ; tandis que les *niveaux de rencontre* X, Y et Z dépendent uniquement de la position de la couche imperméable AB, dont l'allure est indéterminée.

Il est donc relativement facile de prévoir à quel niveau remontera l'eau dans un puits ou forage, d'après les données fournies, soit par la connaissance exacte des points d'alimentation et d'écoulement naturels, soit par des travaux précédemment exécutés ; tandis qu'on ne peut avoir sur la profondeur totale des forages projetés que des notions incertaines, dans les limites de la connaissance géologique du sous-sol.

## RÉGIME DES EAUX SOUTERRAINES

**17. Alimentation des nappes.** — Les eaux météoriques qui arrivent sur le sol sont soumises à trois influences différentes : une partie est immédiatement enlevée par évaporation, une autre ruisselle et s'écoule à la surface, et la dernière enfin pénètre dans le sol, si la perméabilité est suffisante.

L'eau enlevée par évaporation échappe par cela même à l'utilisation immédiate et n'intéresse qu'indirectement notre sujet ; cependant, il faut

remarquer que, toutes choses égales d'ailleurs, le mode de séjour et de circulation de l'eau à la surface du sol a une influence directe sur la rapidité et l'importance de cette évaporation. Des eaux complètement libres, comme celles des lacs ou des rivières par exemple, offrent par leur grande surface toute facilité à cette action ; il en est de même, presque également, des terrains superficiels imbibés d'eau, comme certains limons plus ou moins argileux, ou des marécages abondamment pourvus de végétaux ; ceux-ci, par l'ascension de l'eau qu'ils provoquent continuellement, sont d'actifs agents d'évaporation.

L'eau ne pénètre dans le sol, immédiatement et complètement après sa chute, que d'une façon tout à fait exceptionnelle. Dans la plupart des cas, il y a toujours un peu de ruissellement préliminaire. On conçoit, en effet, que pour que la pénétration ait lieu, il faut qu'il existe un certain rapport entre la quantité d'eau tombée en un temps donné, la pente de la surface du sol et la perméabilité de celui-ci.

On peut admettre qu'un terrain soit tout à fait imperméable et que l'eau tombée sur sa surface puisse en totalité échapper à l'infiltration ; mais, inversement, on doit remarquer que, quelle que soit la perméabilité d'une roche, la pénétration ne peut s'y produire instantanément ; il y a toujours un retard qui permet à une certaine portion

d'eau de couler librement à la surface avant de s'infiltrer.

A égalité de perméabilité, la pénétration est d'autant plus parfaite que la pente est plus faible, et que l'arrivée de l'eau est plus lente. De là, le fait bien connu de l'inutilité relative des pluies torrentielles pour l'alimentation des nappes souterraines. La fusion de la neige est, au contraire, particulièrement active à ce point de vue, d'autant plus que, dans cet état, l'eau échappe à l'évaporation ; au moment du dégel, elle est, en outre, à peu près soustraite au ruissellement, même sur les pentes, quand celles-ci ne sont pas trop accentuées. Cependant, comme on l'a vu précédemment (§ 8), la neige peut être complètement perdue pour les nappes, si elle est tombée sur un sol préalablement gelé.

Il existe généralement, dans le sol, au-dessus du niveau hydrostatique, une zone dans laquelle les cavités naturelles ne sont pas continuellement remplies par l'eau d'infiltration, qui y circule seulement plus ou moins temporairement, pour se rendre aux nappes.

Quand ces cavités sont larges et constituent de véritables canaux, l'eau les traverse facilement et atteint rapidement le niveau hydrostatique, il y a alors écoulement normal pendant un temps qui est déterminé par le volume d'eau tombé, par le chemin à parcourir et par le

nombre et la section de ces canaux. Dans le cas extrême de larges ouvertures : avens, bétoires, gouffres, etc., il se produit de véritables chutes presque libres.

Tout autre est le cas beaucoup plus normal où la perméabilité est due à des canaux très réduits, mais en nombre considérable, on se rapproche plus ou moins alors des conditions ordinaires de la capillarité. Si la roche est incomplètement imbibée d'eau hygroscopique, et si les canaux sont vides, l'eau d'infiltration est retenue au passage, ce n'est que quand la saturation est atteinte, que la pesanteur prend le dessus, et que l'eau peut continuer son chemin vers la nappe. Il se produit alors un perpétuel échange de molécules d'eau, on est en présence d'une véritable circulation capillaire.

Si on isole par la pensée un de ces conduits, dans une masse de terrain, et si on suppose la roche saturée, la moindre introduction d'eau à la partie supérieure est en excès sur l'eau hygroscopique, elle forme piston et chasse par son poids une quantité d'eau égale, qui s'échappe par la base du conduit, c'est-à-dire dans la nappe. Celle-ci subit ainsi immédiatement, grâce à l'incompressibilité des liquides, l'influence de la chute d'eau ; quelle que soit d'ailleurs la distance comprise entre le sol et le niveau hydrostatique.

Si, dans l'hypothèse précédente, nous admettons que la roche n'est pas saturée d'humidité sur la hauteur considérée, l'eau d'infiltration trouve à se loger dans la cavité capillaire incomplètement remplie; la nappe ne reçoit un certain appoint que quand la saturation des roches supérieures est atteinte; il y a un retard qui est fonction du défaut de saturation et de la longueur du conduit, c'est-à-dire de la distance comprise entre le sol et le niveau hydrostatique.

En pratique, l'alimentation étant généralement intermittente, la quantité d'eau contenue dans les roches hygroscopiques atteint rarement son maximum. Dans les périodes de sécheresse ou, plus exactement, quand il n'arrive pas d'eau à la surface du sol, la descente lente de l'eau d'imbibition continue à se produire en déterminant, grâce à la pesanteur, une sorte de succion qui diminue l'état hygroscopique des parties supérieures du terrain.

Dans tous les cas, que la nappe soit ou ne soit pas immédiatement influencée par l'infiltration d'une quantité déterminée d'eau, une molécule donnée de celle-ci ne peut arriver à la nappe qu'après avoir successivement repoussé devant elle les molécules qui préexistaient dans les canaux capillaires de la roche. Le temps nécessaire pour que la molécule considérée arrive à la nappe est donc directement pro-

portionnel au chemin à parcourir, c'est-à-dire à la distance qui sépare le sol de la surface hydrostatique.

Dans un terrain faiblement perméable et de forte épaisseur, le temps écoulé entre la chute de la pluie et l'arrivée à la nappe d'une quantité équivalente d'eau peut donc être plus ou moins long, mais une molécule déterminée chemine toujours dans la roche avec une vitesse extrêmement réduite. La *période d'influence* peut ainsi, dans un terrain donné, être de quelques mois, de quelques jours même, alors que le *temps de pénétration* se mesure par années ou par siècles.

Quand les conduits souterrains ont une section appréciable, la rapidité de cheminement de l'eau est naturellement plus grande et indépendante de la quantité d'eau contenue dans les roches à l'état hygroscopique, l'échange capillaire n'existe plus. Si les canaux, quoique non capillaires, ont cependant encore une dimension réduite, ils peuvent être remplis par l'eau d'infiltration ; mais dès que cette dimension acquiert une certaine valeur, l'écoulement s'effectue rarement à pleine section, l'eau glisse sur les parois en s'y maintenant par adhérence moléculaire <sup>(1)</sup>.

---

(1) Dans le creusement des galeries ou tunnels dans les parties d'un terrain perméable, au-dessus d'une nappe, on recoupe ainsi une multitude de canaux

Cette descente de l'eau d'infiltration, venant directement du sol, qu'elle soit d'ailleurs effectuée plus ou moins lentement par un quelconque des procédés que nous venons d'examiner, constitue le mode normal d'alimentation des nappes libres.

Les nappes captives doivent aussi la plus grande partie de leur eau à ce mode d'alimentation par infiltration directe, mais celle-ci se produit sur une étendue de terrain relativement réduite, puisqu'elle ne représente généralement qu'une section plus ou moins oblique de la couche perméable. Dans l'exemple de la *fig. 4*, cette zone s'étend seulement de B à D.

L'alimentation des nappes subordonnées est, comme on l'a vu (§ 41), essentiellement mixte, mais que l'eau y arrive directement par infiltration ou par déversement d'une ou de plusieurs nappes supérieures, elle n'en reçoit pas moins la totalité de l'eau d'infiltration du plateau et même de celle qui tombe et ruisselle sur les affleurements des terrains imperméables qui la surmontent. C'est ainsi que la nappe subordonnée, représentée sur la *fig. 3*, reçoit finalement toute l'eau tombée sur la surface du sol, depuis s jusqu'à F.

---

d'alimentation de celle-ci, et il est rare qu'on observe la chute directe de l'eau qui glisse uniquement sur les parois.

De la même façon, il arrive fréquemment que des cours d'eau, après avoir coulé sur des terrains imperméables, arrivent au-dessus de couches perméables, et perdent tout ou partie de leur eau au profit de la nappe sous-jacente; il y a, dans ce cas, perte plus ou moins complète.

**18. Circulation.** — Dans le paragraphe précédent, nous avons étudié la circulation de l'eau d'infiltration proprement dite, dans son parcours pour se rendre de la surface du sol vers les nappes, c'est-à-dire avant la réunion en masses continues des courants, filets ou simples gouttes d'eau. Cette circulation, soumise aux caprices des canaux naturels du terrain, s'écarte peu cependant de la verticale; c'est une chute plus ou moins retardée par la capillarité et l'adhérence moléculaire.

Une fois réunies, les eaux souterraines changent de régime; il se produit presque toujours un écoulement oblique vers les points bas; il s'agit ainsi d'une circulation en conduits pleins, soumise plus directement aux lois ordinaires de l'hydraulique; lois d'ailleurs impossibles à appliquer au point de vue calcul, à cause de l'ignorance dans laquelle on se trouve de la valeur de la plupart des facteurs du problème.

On connaît l'importance des dimensions et de la forme des canaux souterrains pour l'écoule-

ment des eaux. Dans un terrain perméable dans son ensemble, l'égalité de toutes les ouvertures est l'exception ; l'eau d'une nappe circule donc dans un nombre considérable de conduits dont les sections peuvent varier à l'infini ; la vitesse de passage dans chacun d'eux varie donc aussi dans des limites extrêmes ; deux canaux voisins peuvent ainsi avoir des débits très différents.

Si, maintenant, on envisage un ensemble de couches présentant de grandes variations de perméabilité, et si on suppose une nappe circulant dans ce terrain, on voit que l'eau passe dans une série de couches superposées, séparées par celles qui offrent la plus grande résistance. Quoique l'ensemble soit perméable, il peut sembler à première vue que l'on est en présence d'une succession de nappes différentes, alors qu'il n'y en a qu'une seule.

Les sondeurs connaissent parfaitement les fréquentes variations du niveau de l'eau dans le trou de sonde, au fur et à mesure de l'avancement de leur travail. En pleine nappe, on voit ce niveau monter ou descendre de quantités généralement faibles, il est vrai, mais chacun de ces mouvements est l'indice certain d'un changement de perméabilité du terrain à la base du sondage. Quand on arrive à une couche très perméable, comprise en deux autres, relativement peu perméables, la nappe affecte localement

les allures d'une nappe captive et donne lieu à un mouvement du niveau. Le plus souvent, l'avancement du travail dans une même nappe réunissant un très grand nombre de couches à circulation aisée, il en résulte une augmentation de la perméabilité générale, le niveau s'abaisse toujours. Cette circonstance est un indice certain d'augmentation de débit.

La circulation de l'eau de la nappe proprement dite se fait dans des conditions on ne peut plus indéterminées ; ce sont précisément les débits constatés, soit aux sources, soit dans les travaux artificiels, qui peuvent seuls donner des indications certaines sur la perméabilité des terrains essentiellement inexplorables. Dans les parties situées au-dessus du niveau hydrostatique, on est souvent à même de connaître ou même d'explorer les cavités plus ou moins larges qui facilitent l'alimentation des nappes. Mais dans celles-ci, on se trouve réduit aux connaissances indirectes fournies par les manifestations secondaires de la circulation.

Les cas extrêmes de grande perméabilité, qui résultent de la présence de grandes fractures ou même de cavernes, existent naturellement aussi dans les parties immergées ; le plus souvent, rien ne peut en faire prévoir l'importance ni la position. Cependant, les fractures d'origine géologique qui intéressent une forte

épaisseur de terrain se manifestent à la surface du sol, et permettent de déterminer, par leur direction, la position de leur prolongement dans les parties intéressant la circulation des eaux souterraines. D'une façon générale, on peut admettre que, toutes choses égales d'ailleurs, les canaux immergés sont plus dégagés que ceux qui existent au-dessus de l'eau. Le mouvement et même le séjour de celle-ci déterminant, comme on le verra plus loin, une destruction mécanique et chimique des parois, qui se traduit par une perméabilité moyenne de plus en plus forte des roches intéressées. Le phénomène atteint évidemment son maximum d'intensité dans les terrains calcaires. Les transports de matériaux dissous ou charriés qui se précipitent ou se déposent ultérieurement, obstruent, il est vrai, des canaux primitivement libres, mais en moyenne, la circulation acquiert toujours dans ces terrains une valeur croissante.

Dans un terrain parcouru par une nappe, plus la circulation est active, plus elle tend à le devenir, en augmentant toujours les canaux les plus puissants ; il en résulte ainsi dans bien des cas, cette apparence de conduits superposés qui donne lieu aux idées fausses de sources souterraines d'origines différentes, alors qu'il ne s'agit, en réalité, que des parties plus ou moins libres d'une même nappe.

Les parties les plus perméables d'un terrain non homogène, sont généralement celles qui sont au contact immédiat des lits les plus imperméables ; les lits d'argile intercalés dans des graviers ou sables aquifères, et plus encore dans des calcaires, présentent ce phénomène d'une façon très accentuée.

Les couches argileuses sont souvent lenticulaires ; elles subdivisent une même nappe en un nombre quelquefois très grand de canaux qui peuvent présenter à l'eau une grande facilité de circulation.

**19. Puissance et réserve d'une nappe.** — La *puissance* d'une nappe est le volume total de l'eau contenue dans l'ensemble des vides du terrain compris entre le fond imperméable et la surface hydrostatique. Il faut bien se garder de confondre cette puissance avec le débit, c'est-à-dire la quantité que peut fournir la nappe en un temps donné, par ses orifices naturels ou artificiels.

Une nappe, retenue par une couche imperméable très profonde et très étendue, peut avoir une puissance considérable ; mais, si les issues naturelles sont élevées, par rapport au support, une partie importante du volume total ne pourra pas s'écouler au dehors ; ces issues, véritables déversoirs, fonctionnent seulement comme les trop-pleins d'un réservoir.

Le volume d'eau pouvant ainsi s'écouler librement par les orifices naturels constitue la *réserve utilisable* de la nappe. Théoriquement, cette réserve est comprise entre l'horizontale passant par le point d'écoulement le plus bas et la surface hydrostatique.

Si on admet l'hypothèse d'un arrêt complet de l'alimentation, il est évident que l'écoulement de l'eau continuera à se faire avec une vitesse et pendant un temps plus ou moins grands, suivant la perméabilité de la roche et l'importance de la réserve, et il arrivera un moment où la surface hydrostatique atteindra le plan horizontal, limite inférieure de la réserve (1).

La réserve ainsi épuisée, il peut encore exister au-dessous, un volume d'eau considérable ; il faut donc bien se garder de confondre la réserve et la puissance. L'eau située au-dessous des orifices naturels ne peut être utilisée, c'est-à-dire extraite. Les puits et surtout les forages, pouvant, dans certains cas, dépasser en profondeur les orifices naturels, permettent d'augmenter artificiellement la réserve et même, souvent, de la rendre égale à la puissance totale, si cet orifice artificiel, c'est-à-dire le niveau d'épuise-

---

(1) Pour la simplification du raisonnement nous faisons abstraction, ici, de la capillarité qui retiendrait cette surface hydrostatique au-dessus du plan horizontal, à moins que la circulation ne s'effectue dans de larges canaux.

ment ainsi créé, est disposé à la partie la plus basse du support imperméable de la nappe.

Si, maintenant, on se reporte aux exemples de nappes précédemment cités, on voit que dans le cas de la nappe libre (§ 10, *fig. 1*), la puissance totale, comprise entre le fond imperméable XYZ et la surface hydrostatique *sa's'a'p* est beaucoup plus forte que la réserve, comprise entre cette dernière et le plan horizontal *hs'j*, passant par la source *s'*, écoulement naturel le plus bas.

Pour la nappe libre à support élevé (§ 11, *fig. 3*), le plan horizontal passant par la source *s'* étant toujours au-dessous de ce support, la réserve est égale à la puissance.

Si le support de la nappe de ce type est supposé disposé en cuvette, comme celui de la *fig. 2*, la puissance est supérieure, mais le volume de l'eau inutilisable est faible.

Pour la nappe captive (§ 12, *fig. 4*), la puissance est relativement considérable, puisqu'elle comprend la presque totalité des canaux libres du terrain perméable considéré. La réserve, beaucoup plus faible, quoique encore très importante, est limitée par les deux couches imperméables, par l'horizontale de la source *s* depuis *o* jusqu'à *u* et par la partie de la surface hydrostatique compris entre *q* et *m*.

Dans la définition de la *réserve* ainsi que dans

les exemples ci-dessus, que l'on pourrait multiplier à l'infini, je me suis placé au point de vue spécial de l'utilisation des eaux souterraines, comprenant comme points d'écoulement naturels les seules issues situées à la surface du sol ; mais il est bien entendu que l'écoulement de l'eau des nappes peut se faire, et se fait le plus souvent en réalité, au-dessous et indépendamment de ces points d'affleurement extérieurs, soit dans d'autres nappes, soit directement vers la mer, quelle que soit la distance du rivage le plus proche, quand les conditions d'altitude et de perméabilité s'y prêtent.

**20. Influence des Saisons.** — Si les apports d'eau étaient réguliers et continus, il existerait un équilibre constant entre l'alimentation et les écoulements naturels ; mais les chutes de pluie, de neige, la fusion de celle-ci ou des glaciers sont toujours intermittentes et généralement périodiques ; la régularité et la longueur de la période étant d'ailleurs variables suivant les climats. L'alimentation des nappes est soumise aux mêmes irrégularités relatives. Les eaux souterraines présentent donc de véritables crues, comme les cours d'eau superficiels ; cependant, par suite des difficultés de pénétration et de l'irrégularité plus ou moins grandes de l'état hygroscopique des roches (§ 17), il y a toujours un certain retard des crues souterraines

sur les crues superficielles. Ce retard peut précisément avoir une valeur telle, que l'ascension de l'eau souterraine se produise pendant les saisons sèches. C'est ce qui arrive dans les régions crayeuses du Nord et de la France, où les hautes eaux des nappes sont généralement observées de juin à juillet.

Quand il s'agit d'une pénétration rapide par l'intermédiaire de puissants canaux : gouffres, fractures, etc., l'influence des chutes d'eau est presque immédiate ou tout au moins se fait peu attendre ; ce ne sont plus, à proprement parler les saisons, mais bien chaque pluie qui se fait sentir. Les nappes soumises à ce régime sont comparables aux torrents, elles manquent de régulateur.

Les variations de l'alimentation n'ont naturellement aucune influence sur le fond inutilisable des nappes, dont le volume invariable dépend uniquement des positions du support et des points d'écoulement ; la réserve utilisable, au contraire, subit toutes les variations de volume résultant des fluctuations de l'alimentation.

L'importance de cette influence, au point de vue des changements de niveau hydrostatique, est essentiellement variable et dépend non seulement de la perméabilité des roches, entre le sol et la nappe, mais aussi de la facilité d'écoulement de l'eau vers les points d'affleurement,

c'est-à-dire de la perméabilité des terrains directement intéressés par la nappe ; si cet écoulement est facile, les apports supplémentaires n'ont pas le temps de relever le niveau. Enfin, les fluctuations se font d'autant moins sentir que le volume total de la réserve est plus grand.

**21. Régime des nappes au voisinage de la mer.** — Quand une nappe affleure dans une falaise et se déverse au contact d'une couche imperméable, au-dessus du niveau des hautes marées, la mer joue le rôle d'un simple collecteur et n'exerce aucune influence directe sur cette nappe.

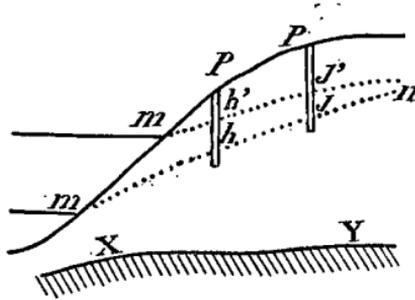
Quand le terrain perméable qui contient la nappe affleure et se prolonge sous la mer, il y a modification du régime et de la qualité des eaux souterraines. Dès que le contact se produit, il y a division de l'eau douce en deux parties : l'une glisse à la surface de la mer, grâce à sa plus faible densité et l'autre, continuant son chemin souterrain, passe au-dessous, dans les cavités de la roche. La première, continuellement agitée ne tarde pas à se mélanger avec l'eau salée. La seconde partie se mélange aussi, mais moins directement et dans un état de division souvent très grand, particulièrement propre à favoriser des phénomènes complexes de séparations, de mélanges et de réactions mutuelles des éléments, par voie chimique ou physique.

Au contact des mers sans marée ou des lacs salés, le régime mécanique des nappes subit peu ou point de modifications, l'eau souterraine compense simplement par ses apports réguliers les pertes dues à l'évaporation.

Sur les côtes où la marée se fait sentir, il y a une influence périodique du niveau de la mer sur celui des nappes.

Supposons le cas d'une nappe libre à support profond XY, au-dessous du niveau de la mer (fig. 7). A marée basse, quand le niveau est en  $m$ , ce point

Fig. 7



est l'affleurement le plus bas de la nappe, dont le niveau hydrostatique est  $mn$ . Quand la mer s'élève en  $m'$ ,

l'affleurement de l'eau souterraine arrive au même point, qu'elle atteint progressivement, pendant que la surface hydrostatique devient  $m'n$ , pour revenir en  $mn$  dès que la marée redescend elle-même.

Dans un puits P creusé dans le voisinage de la côte, on voit le niveau de l'eau subir ainsi l'influence de la marée et varier de  $h$  à  $h'$  avec un retard plus ou moins grand sur le mouve-

ment de cello-ci, suivant la distance de la mer et la perméabilité du terrain.

Quand on observe, dans un puits, les mouvements déterminés par la marée, la première impression est de croire qu'il y a successivement invasion et départ d'eau salée, grâce à la perméabilité du terrain; il est facile de se rendre compte qu'il s'agit simplement d'une accumulation d'eau douce par suite du relèvement périodique de son point d'affleurement naturel. Il suffit, d'ailleurs, d'observer que le niveau  $h'$ , dans le puits, est généralement supérieur au niveau de la haute mer. Si même le puits est situé plus haut, en  $P'$ , par exemple, les niveaux  $j'$  et  $j$ , correspondant respectivement à la haute et à la basse mer, sont tous deux, supérieurs à celle-là. Enfin, un simple dosage de chlorure de sodium permet de s'assurer que l'eau est douce et de composition invariable dans ces puits.

Quand une nappe captive a son point d'affleurement inférieur sous la mer, son niveau piézométrique est également influencé par les fluctuations de la marée; le phénomène présente même ceci de particulier, qu'il se fait sentir à des distances beaucoup plus considérables que dans le cas des nappes affleurant librement sur les côtes. On a des exemples certains de fluctuations ainsi observées à plus de

100 kilomètres de la mer, dans des puits forés alimentés par des nappes captives puissantes et de grand débit. Dans tous les cas, il est évident que cette influence est d'autant plus certaine que la circulation de l'eau souterraine est plus facile, c'est à-dire que les terrains qui la contiennent sont plus perméables.

## SOURCES

**22. Définition.** — Une source est l'écoulement, hors du sol, de l'eau d'une nappe; elle en est la manifestation naturelle principale.

L'importance, l'allure, la position, etc., en un mot, toutes les caractéristiques d'une source dépendent essentiellement de la position et du régime de la nappe qui l'alimente. Chaque type de nappe donne donc lieu à des sources de caractères particuliers; ici encore, il est impossible de faire une nomenclature, même approchée, de tous les cas qui peuvent se présenter; nous devons donc nous contenter de décrire ceux qui, par leur manière d'être, constituent réellement des types à part bien tranchés.

**23. Sources de déversement.** — Quand le support imperméable d'une nappe affleure au-dessus du fond d'une vallée, comme dans le cas des nappes libres à support élevé (*fig. 2*),

l'écoulement naturel de l'eau se fait normalement aux points d'affleurement de la surface supérieure de ce support, en *s* et *s'*. Le nom de *source de déversement* paraît répondre exactement au mode d'écoulement de l'eau des nappes de ce type.

Ces sources sont les plus ordinairement connues et celles qui frappent mieux l'imagination, quand elles sont importantes; leurs caractères sont en effet extrêmement nets, aussi, est-on souvent tenté de les généraliser. C'est ainsi que l'on entend souvent dire que la présence d'une source est la preuve du voisinage immédiat d'un terrain argileux et qu'inversement, tout terrain imperméable doit donner lieu à un écoulement d'eau. Ceci n'est vrai que pour les sources de déversement, nous avons vu, en effet, que quand le support imperméable est à une certaine distance au-dessous d'un thalweg, il peut y avoir émergence de la nappe au niveau de celui-ci.

Donc, pour que la couche imperméable existe nécessairement immédiatement au-dessous de la source, il faut que celle-ci soit située dans un point relativement haut. Inversement, si cette couche est très inclinée, il peut arriver que l'écoulement normal de la nappe supportée se fasse entièrement d'un seul côté; c'est le cas de la nappe de la *fig. 3*, l'écoulement principal

s'effectue par la source  $s'$ , il n'y a au point haut, en B, que des suintements insignifiants ou nuls.

La position et l'importance relatives des sources de déversement d'une nappe sont déterminées par la pente et la forme du support, celui-ci présente généralement des affleurements ondulés sur les flancs des collines, par suite de la dénudation, il en résulte des points d'élection de l'écoulement de l'eau et ceux-ci, une fois localisés, produisent des ravinelements qui augmentent continuellement l'affaissement du déversoir naturel. Ici encore, comme dans la circulation souterraine, l'eau tend toujours à augmenter de plus en plus les mêmes canaux.

Belgrand a démontré <sup>(1)</sup> que les sources produites ainsi au contact d'une couche imperméable sont plus abondantes dans les points où ce support rencontre des thalwegs qu'à l'intersection des croupes. La partie du bassin d'alimentation qui intéresse les premières est évidemment toujours plus grande que celle des autres ; mais l'affaissement du support dans la vallée est, en outre, une des causes de l'excès de débit en ce point.

La fixité de position d'une source de déversement constitue un de ses caractères essentiels ; elle peut avoir un débit variable ou même tarir,

---

(1) BELGRAND. — *La Seine*, t. I, p. 95.

mais elle ne se déplace jamais. C'est le trop-plein naturel d'un vase qui déborde par la partie la plus basse de son pourtour; tout au plus peut-il y avoir affaissement léger, par suite de l'écoulement et du ravinement.

Dans certaines conditions, les nappes captives peuvent donner lieu à des sources de déversement; c'est le cas de la source *s*, de la *fig. 4*, qui se produit au contact du support imperméable, au-dessus du fond de la vallée *V*.

**24. Sources d'émergence.** — Toutes les fois que la surface hydrostatique d'une nappe s'élève librement jusqu'au niveau du sol, l'eau peut s'écouler au point de contact des deux surfaces; quelles que soient d'ailleurs la position, la forme et l'inclinaison du support imperméable de la nappe.

Les sources de ce type sont souvent appelées *sommes* (spécialement en Champagne) ou *bimmes* (1).

La désignation : *source d'émergence* est dans ce cas, plus générale et paraît mieux en rapport avec le mode d'alimentation.

Pour qu'il y ait émergence d'une nappe, et par suite, source de ce type, il faut qu'une

(1) Ce dernier nom est d'ailleurs plus spécial que le premier, et s'applique surtout aux sources sortant d'un gouffre en entonnoir naturel.

courbe de niveau du sol rencontre une courbe

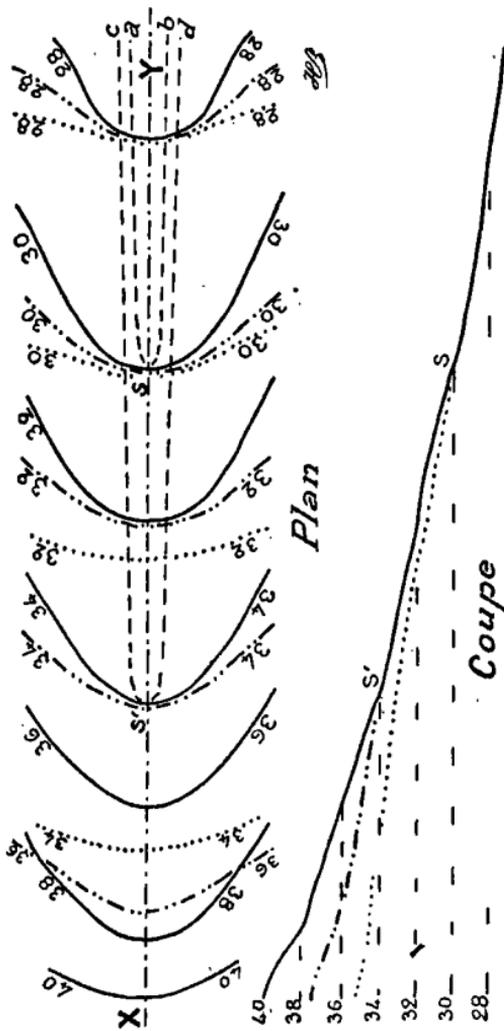


Fig. 8. — Nappe libre aux abords d'une vallée.  
 --- Courbes de niveau du sol.  
 - - - // // de la surface hydrostatique. Hautes eaux.  
 ..... // // de la surface hydrostatique. Basses eaux.

de même cote de la surface hydrostatique de la nappe.

Représentons en plan et en coupe longitudinale (*fig.* 8), les positions extrêmes d'une nappe libre, aux abords d'une vallée, dans un terrain perméable.

Pendant la période des basses eaux souterraines, la source *s* émerge à la cote 30, au point de rencontre de la courbe de niveau du sol et de la surface hydrostatique. Pendant la période des hautes eaux, la source s'élève en *s'* à la cote 34. La vallée *XY* ayant une pente faible, les deux points *s* et *s'* sont à une assez grande distance horizontale. Dans cet exemple, l'amplitude verticale du déplacement de la surface de l'eau est supposée de 4 mètres; le plus souvent, dans les vallées, les variations du niveau des nappes libres n'atteignent pas cette valeur, mais d'autre part, la pente du thalweg étant très peu accentuée, le déplacement horizontal est presque toujours observable.

Le déplacement des sources d'émergence est, en effet, fréquent, elles peuvent ainsi, au moment de la baisse des eaux, s'éloigner beaucoup de leur position supérieure, laissant en amont une longue vallée complètement sèche, qui a à première vue l'aspect d'un lit de torrent, mais qui en diffère essentiellement au point de vue de l'alimentation. Dans celui-ci, l'eau revient par la partie la plus élevée et descend progressivement vers l'aval; dans la vallée abandonnée

par la source d'émergence, au contraire, on voit au moment du retour des hautes eaux, la position de la source remonter peu à peu de l'aval vers l'amont.

A partir du point d'émergence dans le thalweg, il existe un cours d'eau qui est alimenté, non seulement par cette source d'amont, mais qui est en contact latéral constant avec la surface de la nappe, sur tout son parcours inférieur. Les courbes de même niveau du sol et de la surface hydrostatique se rencontrant à droite et à gauche du thalweg, donnent lieu ainsi à une surface d'émergence continue qui constitue précisément le cours d'eau. Sur la figure, ces surfaces sont limitées par la courbe  $asb$  pour la période des basses eaux, et par la courbe  $cs'd$ , pour celle des hautes eaux.

Si nous nous reportons maintenant au cas de la nappe libre, dont la surface affleure sur un plateau, en y formant un lac ou un étang (*fig. 6*), on voit qu'il s'agit simplement et, d'après la définition précédente, d'une source d'émergence à large surface ; le déplacement horizontal des sources se traduit par un changement de la surface liquide émergente ; la courbe réunissant les diverses sources, au lieu d'être ouverte comme dans la vallée, est ici fermée.

Dans l'exemple de la *fig. 1*, on voit la surface hydrostatique de la nappe libre, affleurer

dans le fond des vallées V et V', en formant les sources s et s'. La coupe traversant la vallée V'', en amont de l'affleurement de la nappe, l'eau est à une distance *op* au-dessous du thalweg.

Quand le terrain, au lieu d'être perméable, grâce à une infinité de canaux de petite dimension, présente de larges ouvertures, les conditions générales sont évidemment les mêmes, mais, comme pour la circulation interne, il y a écoulement de la presque totalité de l'eau, par un nombre restreint de points. En particulier, dans les terrains calcaires présentant des puits naturels ou gouffres, quand ces orifices débouchent dans le fond des vallées (ce qui d'ailleurs est le cas le plus ordinaire), c'est par leur intermédiaire que se fait l'émergence de la nappe. Les fluctuations du niveau de celle-ci, assèchent et remplissent alternativement ces entonnoirs naturels, qui fonctionnent ainsi soit comme sources, soit comme puits absorbants, pour conduire à la nappe l'eau de ruissellement superficiel.

Ce sont les sources d'émergence de ce genre qui sont plus spécialement appelées *bimes*, *mardelles-sources*, etc.

Il résulte de la définition même des sources d'émergence, qu'elles ne peuvent jamais se présenter avec jaillissement, elles donnent lieu uniquement à des épanchements réguliers et

tranquilles, quelle que soit d'ailleurs, l'importance de l'écoulement.

Cependant, nous verrons plus loin, que les caractères absolus de ces sources peuvent être légèrement modifiés en pratique, quand il existe sur la surface du sol, dans le fond des vallées, des coulées de limons argileux, qui colmatent localement le terrain normalement perméable.

Les entonnoirs, gouffres, bimes, etc., peuvent ainsi être plus ou moins complètement remplis.

**25. Sources jaillissantes.** — Une source jaillissante est l'arrivée au jour de l'eau d'une nappe, avec une pression suffisante pour que le niveau s'élève au-dessus de la surface du sol. Cette condition ne peut être réalisée qu'avec des nappes captives. Si dans le cas de la *fig. 4*, nous supposons une fracture naturelle RT dans la couche imperméable AB, qui recouvre et maintient la nappe au-dessous de son niveau, il se produit en R une source jaillissante, puisque ce point est inférieur au niveau piézométrique *sm*.

Pour que le jaillissement se produise, il faut nécessairement que la résistance opposée au passage de l'eau, par le frottement dans la fracture RT, soit inférieur à la pression.

**26. Sources déviées.** — On a vu les eaux souterraines, s'écoulant librement à la surface du sol, au point d'affleurement des nappes, que

celui-ci soit ou non déterminé par la position du support imperméable ; mais l'obstacle que le limon argileux apporte au libre régime des sources d'émergence (§ 24), conduit aux cas beaucoup plus complexes, de véritables déviations dans l'écoulement des eaux, qui se produit ainsi à des distances ou à des niveaux quelquefois très différents de la position normale.

Les causes qui déplacent les écoulements des nappes sont innombrables et peuvent donner lieu à des erreurs graves, quand on se trouve en présence d'une *source déviée*. On est, en effet, toujours tenté de supposer que la nappe est elle-même immédiatement voisine de la source, et que le terrain directement visible près de l'eau est précisément celui qui intéresse le plus son régime. C'est alors que la connaissance géologique, et surtout stratigraphique des lieux, prend une importance capitale.

Les déviations des sources sont dues, pour la plupart, à des accidents géologiques ; qu'il s'agisse de profondes modifications stratigraphiques, ou de simples dépôts de matériaux détritiques déplacés par les eaux elles-mêmes.

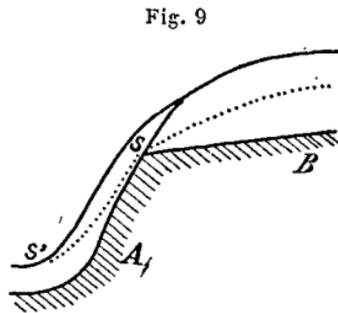
Parmi les causes multiples de déviation des sources, il faut citer : les fractures et failles avec rejets, les épanchements de laves, les pointements éruptifs, les accumulations de matériaux de transport, sableux ou argileux, provenant

des moraines glaciaires ou simplement des cônes de déjection des torrents (<sup>1</sup>), etc. Enfin, toutes les causes capables de modifier localement, d'une façon permanente ou temporaire, la perméabilité des roches superficielles, peuvent amener des déviations de sources.

*a) Déviation des sources de déversement.* —

Le cas classique, le plus simple, est donné par le placage, sur les flancs d'une colline, d'une couche de matériaux détritiques perméables d'origine quelconque. Si ce manteau recouvre

une source de déversement *s*, comme l'indique la *fig. 9*, l'écoulement se fait à l'intérieur du placage, il se forme à la base, dans le fond de la vallée une source *s'*, qui peut affecter elle-même, suivant les circonstances des allures de déversement, d'émergence ou même de jaillissement.



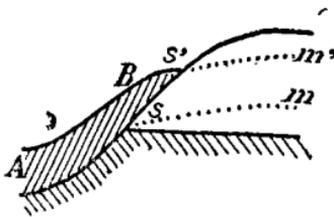
La déviation de la source n'a, dans ce cas,

(<sup>1</sup>) Les moraines et cônes de déjection torrentiels sont souvent aquifères par eux-mêmes; ils rentrent alors dans la catégorie des terrains plus ou moins perméables et doivent ainsi être compris dans les cas généraux.

aucune influence sur le régime de la nappe, puisque la position normale de l'écoulement  $s$  n'est pas modifiée souterrainement, tout au plus peut-il y avoir un léger relèvement, dû à la résistance que le placage apporte toujours à l'écoulement.

Si le placage, au lieu d'être formé de matériaux perméables, est, au contraire, imperméable, comme dans le cas, par exemple, d'un épanchement de lave, l'écoulement ne peut plus se faire en  $s$  (fig. 10) l'eau de la nappe s'élève devant cet

Fig. 10



obstacle, il se produit une source  $s'$  au sommet B du placage.

Le régime de la nappe est alors profondément modifié par le déplacement d'un de ses affleu-

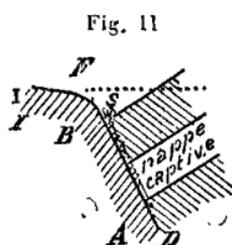
rements, le niveau hydrostatique se relève de  $sm$  à  $s'm'$ . Il peut même arriver que l'écoulement ne puisse plus se faire de ce côté, et soit rejeté dans une autre direction, si le support imperméable présente ailleurs un point de déversement intermédiaire comme niveau entre  $s$  et  $s'$ .

*b) Déviation des nappes captives.* — Les nappes captives sont particulièrement propres à donner lieu à la déviation de leurs sources. On a vu précédemment une source jaillissante produite par la rupture du toit d'une nappe de ce type,

cette source n'est, à proprement parler, qu'une déviation de la source normale inférieure.

Si on suppose maintenant le cas de placages de roches, contre l'affleurement inférieur de la couche contenant la nappe captive, la source inférieure sera déviée, soit en haut, soit en bas, comme dans le cas de la source de déversement. Si le niveau est supérieur, le niveau piézométrique est naturellement relevé. Si la source est abaissée dans un terrain perméable, ce niveau ne subit aucune modification, mais, si elle est conduite plus bas, au-dessous d'une nouvelle couche imperméable, disposée en prolongement du toit primitif de la nappe, le régime et le niveau de celle-ci seront encore modifiés.

Un relèvement fréquemment réalisé dans la nature est celui qui est dû à la disposition d'un terrain imperméable rejeté, grâce à une faille, au-dessus des affleurements de diverses couches qui intéressent une nappe captive.



Soit une faille FD (*fig. 11*) séparant en stratification discordante, un terrain imperméable IBA d'un ensemble

de trois couches, dont l'intermédiaire perméable contient une nappe captive. La faille, remplie de matériaux détritiques, constitue un canal perméable; l'eau s'élève, grâce à sa pression initiale,

dans cette faille, et peut ainsi atteindre le niveau du sol en *s* et donner lieu à une source jaillissante (1).

c) **Déviation des sources d'émergence.** — Les déviations se produisent également avec les sources d'émergence, mais les modifications sont moins importantes qu'avec les précédentes; elles résultent le plus souvent, de l'imperméabilisation superficielle des couches, au niveau desquelles doit normalement se produire l'écoulement.

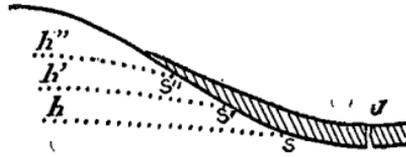
Supposons une nappe libre, affleurant dans le fond d'une vallée, représentée en coupe longitudinale (*fig. 12*); les lignes *hs*, *h's'* et *h''s''* indiquent les différentes positions de la surface hydrostatique. Le point supérieur d'émergence

(1) Il ne doit être question dans ce volume, que des eaux potables ou industrielles, à l'exclusion des eaux minérales; je crois cependant devoir faire remarquer incidemment, que la plupart de ces dernières, froides ou thermales, arrivent au jour, par des sources rentrant dans la catégorie des *sources déviées* jaillissantes. Il s'agit, en effet, généralement de nappes captives et de jaillissements le long de failles, ou par fractures du toit imperméable; celui-ci pouvant avoir une épaisseur considérable, ou être à une très grande profondeur; ces deux conditions étant d'ailleurs très souvent réunies.

La pression qui provoque le jaillissement peut être due aux circonstances ordinaires de position des couches, ou plus spécialement aux mêmes causes que la thermalité fréquente de ces eaux.

doit normalement se trouver en  $s$ ,  $s'$ ,  $s''$ , suivant les fluctuations de la nappe (§ 24), mais, par suite du ravinement superficiel, ou pour toute autre cause, le fond de la vallée est col-

Fig. 12



maté par une couche peu épaisse de limon argileux, ou même d'argile tout à fait imperméable<sup>(1)</sup>.

La nappe est localement transformée en nappe captive, l'eau au lieu de s'écouler librement, suivant les cas, en  $s$ ,  $s'$  ou  $s''$ , atteint dans la vallée un niveau inférieur, et finit par crever la couche imperméable, sous l'influence de la pression due à la différence de hauteur. Il se produit ainsi en  $j$  une source jaillissante qui n'est que la déviation inférieure de la source d'émergence.

La pression est quelquefois suffisante pour donner lieu à un jaillissement visible, dans le fond d'un cours d'eau ayant pour lit la couche imperméable; ce cours d'eau pouvant d'ailleurs être lui-même alimenté dans une vallée voisine, par la même nappe souterraine.

(1) Dans les vallées entamant les terrains crétacés, l'imperméabilisation est fréquemment due à des couches d'argile à silex.

**27. Débit des sources.** — Le débit d'une source est la quantité d'eau qu'elle peut fournir en un temps donné; il dépend de toutes les conditions essentielles de la nappe qui alimente la source et varie avec celles-là. On a vu (§ 19) la différence qu'il y a lieu de faire entre la puissance et la réserve utilisable d'une nappe; cette réserve, c'est-à-dire le volume d'eau contenu dans le terrain au-dessus de la source, intéresse seul le débit.

Dans tout écoulement, le débit dépend de la vitesse et de la dimension de la veine liquide. Pour une source, la vitesse est réglée par la facilité de circulation, c'est-à-dire par le degré de perméabilité du terrain et par la pression au-dessus de l'orifice.

La dimension de la veine liquide est rarement mesurable, tout au plus l'est-elle dans le cas d'*écoulement* ou de *jaillissement* à plein orifice, par une fracture ou une ouverture nettement délimitées; pour les sources de déversement, on peut aussi observer ou créer des déversoirs précis. Mais pour les sources d'émergence qui donnent lieu à des épanchements tranquilles sur des sols presque horizontaux et sur une très grande étendue, il est impossible d'avoir, même d'une façon approchée, la mesure totale des innombrables orifices d'écoulement.

Quant à la vitesse, il faut la prendre pour ce

qu'elle est, sans chercher à en mesurer les facteurs ; la perméabilité n'ayant précisément d'autre mesure pratique que cette vitesse. La charge au-dessus de l'orifice d'écoulement n'est jamais connue, la résistance que l'eau éprouve au passage dans les canaux souterrains atteint le plus souvent une valeur telle, que la mesure directe de la hauteur de l'eau au-dessus de l'orifice, en admettant que l'on puisse l'effectuer, n'a plus aucune valeur. En effet, nous avons vu que plus cette résistance est grande, toutes choses égales d'ailleurs, plus la flèche de la surface hydrostatique est elle-même grande et plus l'écoulement de l'eau est faible ; on arrive à cette conclusion, en apparence paradoxale, que plus le sommet de la nappe est élevé au-dessus d'une source, plus le débit est faible.

On doit donc pratiquement mesurer le débit des sources par les procédés ordinaires de l'hydraulique et partir du résultat ainsi acquis pour en déduire les données dont on peut avoir besoin dans la suite d'une étude déterminée et ne pas chercher à aller au-delà de faits nettement observés et comparables.

a) **Variations du débit.** — Pour une même source, et toutes choses égales d'ailleurs, il est cependant évident que le débit est proportionnel à la pression, c'est-à-dire à la hauteur du niveau hydrostatique, au-dessus du point d'écoulement,

Toutes les causes capables de modifier la hauteur de ce niveau ont donc de l'influence sur le débit des sources.

Or, comme les variations de l'alimentation dues aux saisons agissent directement sur la réserve utilisable et, par suite, sur la hauteur de l'eau souterraine, les sources sont influencées dans les mêmes conditions.

Une source de déversement, dont l'emplacement et la hauteur sont invariables, aura ainsi un débit variable directement observable.

Dans le cas d'une source d'émergence, dont la position n'est pas fixe, mais suit jusqu'à un certain point l'ascension de la nappe elle-même, l'augmentation de débit existe évidemment aussi, mais n'est pas observable de la même façon.

La source remontant dans la vallée quand la nappe monte dans le terrain perméable environnant, la différence de niveau et, par suite, la pression sont peu variables. Le débit de la source supérieure est donc à peu près constant ; mais si, au lieu de considérer uniquement celle-ci, nous envisageons la totalité des émergences dans la vallée au dessous de cette source (§ 24, *fig.* 8), on voit que le débit total croît avec l'ascension de la nappe.

Il est également facile de concevoir que le surcroît d'alimentation d'une nappe captive a une influence directe sur le débit de ses sources.

En résumé, toutes les causes capables de modifier le régime et surtout la réserve utilisable des nappes, ont une influence sur le débit des sources qui en dépendent.

b) **Constance du débit.** — Comme conséquence de la solidarité entre le régime d'une nappe et celui de ses sources, on arrive à cette conclusion que le débit de celles-ci est non-seulement influencé par les mêmes causes, mais aussi que la constance de ce débit dépend directement de l'importance de la nappe et de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle elle est elle-même modifiée.

Si une nappe peu importante existe dans un terrain très perméable, facilement alimenté, une chute de pluie augmente rapidement la réserve et, comme conséquence de la circulation souterraine facile, l'eau gagne les sources peu de temps après ; le débit augmente pendant un temps proportionnel à la quantité d'eau reçue et retombe rapidement ensuite à sa valeur primitive.

Si la même quantité d'eau arrive pendant le même temps, dans une nappe de même importance, mais retenue dans un terrain moins perméable, la réserve est moins rapidement influencée, elle laisse écouler plus lentement l'excès d'eau vers les sources. L'augmentation du débit de la source est plus faible, mais se fait sentir pendant plus longtemps.

Si enfin, la réserve est considérable et intéresse une très grande surface dans un terrain moyennement perméable, on arrive à une régularisation presque complète du régime et à une remarquable constance du débit des sources.

En un mot, pour que le débit d'une source soit constant, il faut que la réserve de la nappe soit considérable par rapport, d'une part, à la quantité d'eau tombée sur le bassin d'alimentation, pendant une assez longue période et, d'autre part, au débit même de la source considérée.

**28. Sources intermittentes.** — Je n'ai pas cru devoir parler plus tôt des sources intermittentes, quoique leur caractère dépende directement de leur mode d'alimentation et en fasse en somme un type spécial, mais parce que cette intermittence les classe précisément dans les sources présentant de grandes variations de débit, au moins périodiquement.

Le débit d'une *source intermittente*, nul ou à peu près à certains moments, acquiert, au contraire, une valeur assez grande à d'autres ; les deux valeurs extrêmes se présentant d'ailleurs avec une périodicité régulière dans une même saison.

Pour que l'intermittence se produise ainsi, il faut que l'alimentation se fasse à deux degrés. Une nappe, d'allure quelconque alimente par un écoulement régulier une cavité ou un ensemble

de cavités qui augmentent localement la perméabilité du terrain, et constituent une nappe secondaire disposée de telle façon qu'elle puisse alimenter une source à très grand débit à partir d'un certain niveau. Dès que ce niveau est atteint, cette nappe secondaire alimentée lentement, quoique régulièrement, se vide en peu de temps.

Les dispositions spéciales du terrain, capables de présenter les conditions essentielles de ce régime, doivent être multiples, mais dérivent pour la plupart sans doute du siphon dont le schéma est donné, à ce sujet, dans tous les traités de physique et d'hydraulique.

Il est aussi possible d'admettre que les larges conduits de la nappe secondaire finale sont normalement obstrués par des blocs de roches mobiles, déplaçables sous l'influence d'une pression déterminée obtenue quand l'eau atteint un certain niveau. Ces blocs, véritables clapets naturels, s'ouvrent sous la pression et sont maintenus dans cette position par la vitesse de l'écoulement; quand celui-ci est terminé, ils retombent sur leur siège, prêts à recommencer la même manœuvre dès que l'eau aura acquis la pression nécessaire.

Les conditions du bélier hydraulique peuvent également être réalisées plus ou moins exactement et donner lieu au phénomène de l'intermittence.

L'alimentation du réservoir final peut elle-même être très variable comme constance, il en résulte des modifications dans la fréquence des écoulements, mais la durée de chacun est invariable puisqu'elle dépend uniquement des dimensions du réservoir et de l'orifice qui sont invariables, quel que soit d'ailleurs le mode d'action du phénomène.

#### DÉSIGNATION DES NAPPES

**29. Hydrologie et stratigraphie.** — Dans l'étude des eaux souterraines qui précède, on a pu remarquer qu'il n'a été fait mention spéciale d'aucune formation géologique d'âge déterminé. C'est qu'en effet la désignation d'une nappe par le nom de l'étage dans lequel on la rencontre, peut-être cause de nombreuses erreurs, par suite de la tendance qu'on a à généraliser des faits locaux. J'ai donc tenu à n'envisager la question que dans ses grandes lignes en tenant compte uniquement des cas principaux de structure et de tectonique générale, abstraction faite de toute idée spéciale à telle ou telle formation.

La plupart des personnes étrangères aux études hydrologiques, faussement impressionnées par l'emploi fréquent des désignations stratigraphiques pour spécifier les nappes, croient que la carte géologique peut leur indiquer les endroits

où on doit trouver de l'eau. L'habitude d'entendre parler de l'eau de tel ou tel étage géologique, conduit faussement à assimiler la nappe à un fossile plus ou moins caractéristique de cet étage.

On désigne le plus souvent une nappe par le nom du terrain dans lequel elle se trouve, mais, dans d'autres cas, on lui attribue le nom de la couche imperméable qui la supporte. C'est ainsi que l'on dit, d'une part, l'eau des sables du gault et, d'autre part, l'eau des marnes vertes. Il y a là une simple question d'usage, ayant probablement pour base l'impression spécialement ressentie au moment de la découverte de la nappe. Quand on va rechercher l'eau par un forage comme celui de Grenelle par exemple, on atteint le but dans la couche aquifère ; au contraire, quand on capte une source de déversement, comme celles des marnes vertes des collines de Paris et des environs, l'attention est plus directement attirée par le support.

Si on devait choisir entre ces deux systèmes, la désignation de la nappe par le nom de son support serait certainement préférable ; une couche imperméable souterraine retient toujours de l'eau, tandis qu'un terrain perméable peut être dans une position telle qu'il ne contienne aucune masse d'eau ; indépendamment d'ailleurs de toute question de valeur de la perméabilité.

Ces désignations sont le plus souvent fausses ;

la composition minéralogique et la structure, dont dépendent essentiellement les propriétés hydrologiques d'un terrain varient à l'infini pour les mêmes niveaux géologiques.

*L'argile de Flandre*, puissante assise imperméable dans le Nord, est l'équivalent des *sables du Soissonnais*; *l'argile plastique* du bassin de Paris devient peu à peu sableuse vers le Nord, et il ne faut pas s'éloigner beaucoup pour la trouver remplacée synchroniquement par des sables plus ou moins fins ou argileux qui donnent une gamme complète de perméabilité; les *sables de Bracheux*, correspondent aux argiles franches du *Landénien* inférieur du Nord, lequel est d'ailleurs parfaitement plastique aux environs de Lille et devient presque exclusivement sableux vers Béthune.

Ces exemples caractéristiques dans une région où des observations sont faciles, grâce aux nombreuses exploitations et surtout aux multiples recherches hydrologiques nécessitées par l'industrie, pourraient être trouvés partout. Les variations de structure des divers étages du crétacé entre autres, sont classiques.

En outre, à côté de ces considérations de structure, il y en a d'autres d'une grande valeur et qui sont relatives à la position des terrains considérés.

Pour qu'un terrain soit aquifère, il faut qu'il

soit perméable, qu'il soit situé au-dessus d'une couche imperméable et enfin il est indispensable que sa position et sa forme générales soient telles que l'eau puisse y arriver et s'y maintenir.

L'ensemble perméable est rarement rempli d'eau ; sauf dans le cas des nappes captives, la surface hydrostatique partage le même terrain en deux zones dont l'une est aquifère et l'autre ne l'est pas.

Dans un ensemble de couches plissées ou simplement inclinées, il est évident que la surface de l'eau souterraine, déterminée par les points d'écoulement affectera une forme indépendante de celle des couches qui la contiennent. Si l'ensemble du terrain perméable est constitué par une succession de couches représentant plusieurs étages géologiques distincts, la surface de la nappe pourra recouper successivement ces diverses formations sans changer de caractère.

Dans l'exemple déjà cité de la nappe libre située entre les vallées de la Somme et de la Bresle (*fig. 5*), la surface hydrostatique recoupe obliquement les couches inclinées des craies à *Micraster cor testudinarium* et à *M. cor anguinum* qui sont d'ailleurs identiques au point de vue de la perméabilité.

La *fig. 13* donne, comme exemple du même ordre encore plus frappant, une coupe trans-

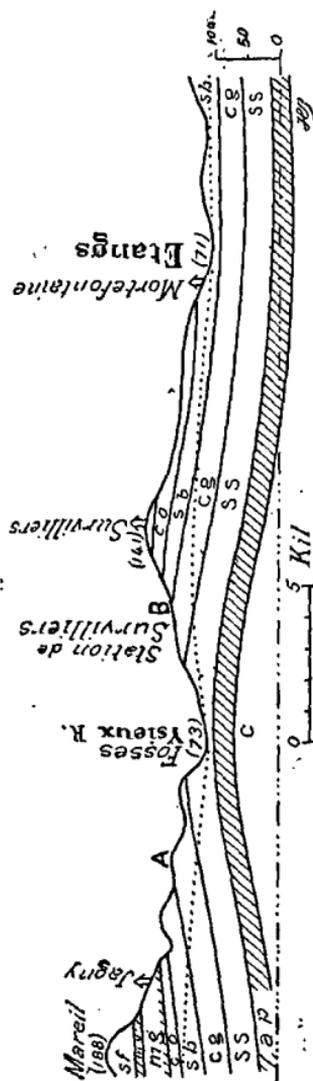


Fig. 13. Coupe hydrologique simplifiée de Mareil à Mortefontaine.  
..... Niveau hydrostatique.

- |                                      |                                  |                                    |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| <i>s.f.</i> Sables de Fontainebleau. | <i>c.o.</i> Calcaire de St-Ouen. | <i>s.s.</i> Sables de Soissonnais. |
| <i>m.v.</i> Marnes vertes.           | <i>s.b.</i> Sables de Beauchamp. | <i>a.p.</i> Argile plastique.      |
| <i>m.g.</i> " et gypse.              | <i>c.g.</i> Calcaire grossier.   | <i>c.</i> Craie.                   |

versale au soulèvement du Bray, dans les environs de Survilliers (Seine-et-Oise) <sup>(1)</sup>; le soulèvement n'est plus manifesté ici que par de faibles ondulations. L'ensemble du terrain compris entre les marnes du gypse au sommet et l'argile plastique à la base, est, d'une façon générale, perméable, à part des lits plus ou moins argileux qui jouent seulement le rôle de retardateurs dans la circulation générale. C'est l'argile plastique qui est le véritable support d'une puissante nappe qui affleure à Fosses, vers la cote 73 en alimentant les sources de l'Ysieux; et émerge à Mortefontaine <sup>(2)</sup> où elle constitue les étangs à 71 mètres d'altitude. Si on suit cette surface hydrostatique dans le sol, on la trouve : au-dessous de Mareil, dans les *sables de Beauchamp*; de Jagny jusqu'au point A dans le *calcaire grossier*; de là au point B dans des *sables du Soissonnais*; elle rentre ici dans le *calcaire grossier* et se retrouve à Mortefontaine dans les *sables de Beauchamp*.

Doit-on considérer cette eau qui circule ainsi dans une série d'étages géologiques comme appartenant à l'un plutôt qu'aux autres ? La

---

(1) H. BOURSALT. — *Le soulèvement du Bray dans les environs de Survilliers*. Le Naturaliste, 2<sup>e</sup> Série, n<sup>o</sup> 25, 15 mars 1888.

(2) Nom qui à lui seul indique un des caractères des sources d'émergence : *la tranquillité*.

désignation du support, l'*argile plastique*, serait, dans ce cas, plus acceptable, bien qu'encore trop précise.

Je crois donc devoir insister sur l'impossibilité qu'il y a de désigner une nappe d'eau, soit par le nom de l'étage géologique dans lequel elle circule, soit par celui de son support.

Ces désignations, commodes il est vrai, dans le langage courant doivent être employées avec la plus grande réserve et *exclusivement à titre local*.

Il est évident cependant, que l'indication des formations dans lesquelles circule une eau doit être donnée, au point de vue des propriétés que les roches traversées ont pu communiquer à cette eau.

---

## CHAPITRE III

### EAUX SUPERFICIELLES

**30. Ruissellement.** — Les eaux météoriques, parvenues sur le sol, ruissellent à la surface sous forme d'eaux sauvages, qui se réunissent en minces filets, et en veines de plus en plus importantes. Si le terrain est perméable, et si l'écoulement est lent, par suite de la faible déclivité du sol, une partie plus ou moins grande disparaît par infiltration, et va alimenter les nappes souterraines ; mais le reste continue toujours à couler à la surface. Il en est de même à plus forte raison, des eaux ruisselant sur des terrains imperméables. L'évaporation exerce librement son action sur toutes les eaux superficielles, et en diminue continuellement l'importance, dans des proportions très variables, suivant les climats, la nature du sol, la végétation, etc.

L'écoulement se fait sous une infinité de formes, suivant la nature des roches, la configuration topographique, le volume d'eau, etc. Tant que les filets sont petits et circulent dans des

canaux réduits, mal formés et déplaçables, d'une chute d'eau à une autre, il y a simple ruissellement ; mais la réunion ultérieure de ces veines liquides ne tarde pas à se produire, il y a formation d'un ruisseau plus ou moins important, coulant dans des dépressions qui, une fois formées, servent toujours de conduits pour les écoulements ultérieurs, et se creusent de plus en plus sous l'influence de cette circulation.

Si on envisage un sol imperméable, et l'eau glissant sur une grande surface, on voit cette réunion de multiples et minuscules affluents se réaliser progressivement et donner lieu, finalement, à des cours d'eau d'importance croissante.

**31. Torrents.** — Quand l'eau de ruissellement, ainsi réunie en masse plus ou moins importante, coule, soit sur un terrain imperméable, soit sur un sol perméable, mais dont la pente est assez accentuée, pour que la pénétration n'ait pas le temps de se produire, et quel que soit d'ailleurs son mode d'alimentation, le courant d'eau ainsi constitué est un torrent.

Le torrent est très irrégulier comme régime, et directement soumis aux fluctuations de l'alimentation.

Dans les régions montagneuses, à pente généralement raides, il n'y a que des torrents, l'eau ne peut presque jamais pénétrer dans le sol, même quand celui-ci est perméable.

Quand ces pentes abruptes sont dépourvues de végétation active, l'alimentation des torrents est immédiatement soumise aux apports d'eaux météoriques. Dans les parties boisées ou recouvertes de végétaux abondants, capables de retenir temporairement, une grande quantité d'eau, celle-ci s'échappe progressivement, l'écoulement est relativement régularisé. Certaines couches sableuses ou tourbeuses, trop peu importantes pour donner lieu à la formation de nappes, produisent de la même façon, une régularisation d'écoulement.

Dans les hautes montagnes, dépassant la limite des neiges perpétuelles, les glaciers servent aussi de régulateurs naturels. Les chutes irrégulières et intermittentes de neige, ainsi que les condensations, donnent lieu à un emmagasinement d'eau solide, que les glaciers laissent écouler, après fusion dans leur partie basse, avec une régularité relative, pendant les saisons chaudes.

Si on considère que, dans les régions montagneuses, il existe trois zones bien distinctes : une inférieure, riche en végétation et en bois, une supérieure ou zone des glaciers, et enfin, une intermédiaire, suffisamment élevée, pour que la végétation ne puisse exister qu'à l'état rudimentaire, mais inférieure cependant, à la limite des neiges perpétuelles ; on voit que cette zone

moyenne, est essentiellement celle des torrents dangereux. Elle se présente avec ses caractères les plus tranchés, dans les pays où elle comprend la totalité des sommets, et où elle échappe, par conséquent, à la régularisation glaciaire. En France, c'est le cas des montagnes du plateau central, et de tous les contreforts des Alpes et des Pyrénées.

Le véritable torrent est essentiellement montagnard, mais on dit généralement, qu'un cours d'eau a un régime torrentiel, quand il coule rapidement sur un sol imperméable, qu'il n'a aucun rapport direct avec les eaux souterraines, et qu'il est, par conséquent, exclusivement alimenté par les apports de l'amont. Si on considère un élément déterminé, d'un cours d'eau torrentiel, dans une partie, où il ne reçoit aucun affluent, le volume d'eau ne peut que diminuer, par évaporation (abstraction faite du faible appoint local des eaux météoriques).

L'eau d'un torrent, directement soumise aux influences météoriques, n'a pas de température propre, celle-ci s'équilibre avec celle de l'air, aussi rapidement que le permet sa grande capacité calorifique. Les cours d'eau torrentiels gèlent avec une facilité très grande, modifiée seulement par l'importance et la rapidité de l'écoulement.

Même dans les cas de régularisation naturelle

relative, les cours d'eau torrentiels ont toujours un régime des plus variables. Ils sont essentiellement soumis aux crues subites et, par suite, capables de déterminer des inondations.

Le régime torrentiel d'un cours d'eau, est généralement normal, mais, dans quelques cas, il peut être le résultat de modifications temporaires ou accidentelles de la perméabilité (§ 8). Si un sol naturellement perméable, et capable d'absorber toute l'eau qu'il reçoit est gelé profondément, le dégel se faisant lentement, de la surface vers l'intérieur, l'eau pluviale nouvellement tombée, et celle qui provient de la glace fondue, s'écoulent sur le fond imperméable; si les circonstances et la déclivité du sol s'y prêtent, il peut se produire de véritables torrents boueux, capables de donner lieu à tous les phénomènes, et à toutes les catastrophes des torrents normaux.

Dans d'autres cas, des coulées de limons ou d'argiles, produites par les eaux elles-mêmes, viennent s'accumuler dans les fonds de vallées, et les colmater plus ou moins complètement; il se forme sur ces thalwegs des faux torrents qui, dans les hautes vallées sèches, peuvent être suspendus au-dessus des nappes.

**32. Cours d'eau de nappe.** — On a vu (§ 24) dans le cas d'une source d'émergence, l'eau d'une nappe s'épancher librement sur le

sol, à partir d'un point déterminé; de là vers l'aval, il y a écoulement sur le fond de la vallée.

La nappe affleurant sur les deux rives, il y a en chaque point, arrivée d'eau souterraine; le cours d'eau ainsi formé, est donc en rapport continu avec la nappe, et la quantité d'eau qui s'écoule augmente progressivement sur tout le parcours, dans la même vallée, indépendamment des affluents; ceux-ci étant d'ailleurs généralement soumis au même régime, et alimentés par la même nappe dans des vallées secondaires. C'est ainsi que la nappe libre de la *fig. 1*, alimente dans les trois vallées V, V' et V'', des cours d'eau qui doivent se rejoindre plus ou moins loin, après avoir eu chacun un débit croissant, depuis leur point d'émergence, jusqu'à leur rencontre.

Si maintenant, on se reporte aux conditions d'alimentation et de régime des nappes souterraines et des sources, on voit combien, dans les plus mauvaises conditions, le cours d'eau de nappe a une régime relativement régulier. La hauteur de la nappe, qui est variable dans le sol loin des points d'affleurement, est, au contraire, soumise à peu de fluctuations dans le voisinage de ces points; le cours d'eau qui en résulte, et qui n'en est que le prolongement à la surface du sol, bénéficie de cette constance.

Les cours d'eau de nappes présentent donc le

minimum de crues, les inondations sont inconnues dans leurs vallées. Enfin, autre caractère qui les différencie des torrents, ils ont une température propre plus constante ; ils gèlent très rarement, quelle que soit leur importance, l'apport continu d'eau souterraine qu'ils reçoivent sur tout le parcours, leur fournissant une provision de calories suffisante, pour éviter, ou tout au moins pour retarder considérablement le refroidissement.

**33. Régime mixte.** — Un cours d'eau peut être soumis exclusivement, soit au régime torrentiel, soit au régime de nappe. D'autres, au contraire, changent plus ou moins complètement dans leur parcours.

Une rivière de nappe, qui passe d'un terrain perméable sur des couches imperméables, perd immédiatement une partie de ses caractères, elle conserve la régularité de son régime primitif, mais elle n'a plus d'appoint d'eau de nappe, et ne tarde pas d'ailleurs, dans ce cas, à recevoir des affluents torrentiels, quand la surface imperméable est suffisamment étendue.

Un cours d'eau torrentiel peut avoir pour origine, non pas exclusivement le ruissellement, mais principalement, une source de déversement, sur le bord supérieur de son lit imperméable ; ce cours d'eau a la plupart des propriétés du torrent, mais bénéficie encore de la régularité de l'écoule-

ment de la source, c'est-à-dire de la nappe qui alimente celle-ci.

Un cours d'eau torrentiel à régime très variable, peut arriver dans une rivière de nappe, à laquelle il communique une partie plus ou moins grande de ses caractères, pendant certaines saisons. Il y a conflit de régime, celui du cours d'eau inférieur, est généralement dominé par celui du torrent.

Il arrive, dans ce cas, surtout si la vallée est étroite, que les eaux du cours d'eau de nappe étant grossies par l'appoint torrentiel, il se produit sur la nappe souterraine elle-même, un relèvement de niveau, par suite de l'élévation des points d'affleurement, comme cela se produit sous l'influence de la marée, pour les nappes voisines de la mer.

**34. Pertes et réapparitions des cours d'eau.** — Quand un cours d'eau, quelle qu'en soit d'ailleurs l'origine, passe d'un sol imperméable sur un terrain perméable, deux cas peuvent se présenter : si ce terrain contient une nappe, dont le niveau est immédiatement à la surface, on rentre dans le cas précédemment examiné, il y a augmentation du débit total. Si, au contraire, la nappe souterraine contenue dans le terrain perméable, est à une certaine distance, l'eau du cours d'eau, pénètre dans le sol avec une vitesse plus ou moins grande, suivant

la valeur des divers facteurs de l'infiltration, et va finalement se réunir à la nappe ; il y a *perte* du cours d'eau.

Si le terrain est uniformément perméable, la perte se fait d'une façon progressive, sans qu'on puisse voir nettement où elle se produit ; suivant l'importance du cours d'eau, il peut ainsi disparaître complètement ou partiellement, mais sur une grande étendue.

Si la perméabilité est irrégulière et localement exagérée, par suite de la présence de fractures importantes, ou d'entonnoirs naturels d'un type quelconque, il y a perte brusque nettement visible. Dans quelques cas, une série de gouffres, existent en ligne dans le fond de la vallée, ils ne fonctionnent pas simultanément en tout temps ; les plus bas ne pouvant être recouverts par l'eau, que dans les moments où le débit du cours d'eau, dépasse la capacité absorbante de ceux situés en amont.

Une fois dans le terrain perméable, ces eaux peuvent se mélanger à une nappe importante, en augmenter la puissance et la réserve, et réapparaître sous forme de sources de cette nappe. Le cours d'eau ne réapparaît pas nettement lui-même.

D'autres fois, si les canaux souterrains sont très grands, et ininterrompus jusqu'au lieu d'émergence, et si, d'autre part, la nappe est

peu importante, par rapport au volume d'eau absorbé, la réapparition du cours d'eau est réelle; il n'a jamais cessé alors de mériter le nom de cours d'eau, il coule souterrainement avec un régime très peu différent de celui qu'il avait à la surface du sol.

Le régime et l'allure des rivières souterraines, peuvent donc à l'intérieur du sol, présenter les mêmes variations qu'à la surface.

Il n'est pas rare de voir des rivières, s'engouffrer dans le sol, entraînant les êtres organisés, qui vivent dans leurs eaux. Si la circulation a lieu dans des canaux suffisamment larges, et disposés de façon à ce que l'air y ait un libre accès, ces animaux continuent à vivre, et réapparaissent au jour. Quand le parcours souterrain est considérable, ou si, pour une raison quelconque, les conditions vitales n'existent plus, ou sont modifiées dans une trop forte mesure, les êtres organisés meurent et peuvent s'accumuler, dans certaines parties des canaux souterrains, en créant ainsi des centres organiques réducteurs.

---

## CHAPITRE IV

### RAPPORT ENTRE LA CIRCULATION DES EAUX ET LE RELIEF DU SOL

**35. Influence réciproque de la circulation des eaux et de la topographie.** — Le relief du sol, aussi bien que la disposition interne des couches géologiques, ont sur la circulation superficielle ou souterraine des eaux une influence manifeste. Réciproquement, cette circulation a joué et joue encore un rôle important dans les modifications du sol.

La topographie a donc des relations bien nettes avec l'hydrologie ; il est, par suite, nécessaire de préciser autant que possible ces rapports pour chercher à retrouver dans le relief du sol les indications utiles à la recherche des eaux.

La plupart des dépressions du sol, après avoir été la cause première de la direction de l'écoulement des eaux, ont été ultérieurement augmentées par cette circulation même. Les vallées de toutes sortes qui existent à la surface du sol sont ainsi, le plus souvent, à la fois la cause et la

résultante de la circulation des eaux et peuvent, par suite, donner la mesure de celle-ci.

**36. Influence de la circulation superficielle.** — L'influence de la circulation superficielle sur les terrains imperméables ou peu propres à la pénétration, en raison des dispositions locales, est facile à envisager, ses effets sont directement visibles et mesurables.

L'écoulement par simple ruissellement, sur une surface à peu près unie, se fait par filets d'eau déplaçables, détruisant successivement les petits sillons creusés par les précédents. Dès que la réunion est effectuée, sous forme de ruisseau ou torrent, dans une dépression nettement tracée par l'eau elle-même ou par une fracture d'origine géologique, ce chemin est de plus en plus creusé, avec une rapidité variable, suivant la vitesse de l'écoulement, la quantité des matériaux solides entraînés et la nature minéralogique des roches intéressées.

Dans les terrains cohérents, capables de résister aux éboulements, il y a creusement progressif de gorges profondes conservant, sur toute leur hauteur, une largeur uniforme qui est celle du torrent lui-même. M. Stanislas Meunier a démontré <sup>(1)</sup> que la plupart des torrents de ce

---

(1) STANISLAS MEUNIER. — *La Géologie expérimentale*, p. 60.

genre ont ainsi pu creuser les gorges profondes au fond desquelles on les observe actuellement, sans qu'il soit nécessaire d'admettre que le débit ait été plus important à une époque antérieure. Le torrent ayant agi à la façon d'une lame de scie de hauteur très réduite qui traverse un bloc épais, en laissant au-dessus d'elle un sillon étroit, dont la hauteur est proportionnelle au temps pendant lequel elle a agi et non à son volume.

Quand la roche est de nature éboulouse, bien que toujours à peu près imperméable, la formation des gorges étroites est impossible ; l'éboulement progressif des lèvres des vallées élargit celles-ci, d'autant plus que les eaux chargées de matériaux solides, provenant de ces démolitions, ont ainsi une action destructive intense.

Il se produit toujours dans les points bas et à pente atténuée du cours des torrents, une accumulation de matériaux détritiques, éminemment propre à la formation de petites nappes locales.

Dans les régions imperméables, les écoulements superficiels, de quelque nature qu'ils soient, sont toujours irréguliers et nombreux.

**37. Influence de la circulation souterraine.** — Dès que la pénétration de l'eau se produit, l'aspect du sol prend un caractère

spécial. Les régions perméables présentent souvent des étendues relativement considérables sans cours d'eau. Belgrand a justement fait ressortir cette particularité qui est suffisante pour permettre de reconnaître, jusqu'à un certain point, les propriétés absorbantes du sol au simple examen d'une carte topographique un peu détaillée (1).

Quand la pénétration se fait par des canaux suffisamment larges pour qu'il y ait circulation un peu active, celle-ci va toujours en augmentant dans les principaux de ces canaux, grâce à l'usure mécanique, à l'attaque chimique ou à la dissolution de certaines roches. Les conduits les plus réduits peuvent même être bouchés plus ou moins complètement par les matériaux entraînés ou par des précipitations chimiques. Dans les nappes elles-mêmes, les actions destructives des eaux se poursuivent encore plus activement.

La destruction mécanique des roches internes varie, naturellement, comme à la surface, suivant leur structure et leur cohésion, et est d'autant plus active que la vitesse du courant est elle-même plus grande.

Les attaques chimiques et les dissolutions exigent un grand volume d'eau, mais ici,

---

(1) BELGRAND. — *La Seine*, p. 71.

la vitesse est plutôt un obstacle, ces actions ayant toujours besoin d'un certain temps pour se produire.

Les roches les plus rapidement attaquées sont les calcaires, grâce à la dissolution des carbonates de chaux et de magnésie par les eaux chargées d'acide carbonique. Parmi les roches ordinaires solubles, au sens propre du mot, il ne faut guère citer que le gypse.

Si on envisage que l'eau peut dissoudre 2 kilogrammes de sulfate de chaux et plus de 400 grammes de carbonate de chaux par mètre cube, on est frappé de l'importance des extractions continuelles que la circulation souterraine doit déterminer et des vides qui en résultent dans les roches ainsi attaquées (1).

L'attaque n'est pas continue sur tout le parcours des eaux souterraines, celles-ci arrivant assez rapidement à un degré déterminé de saturation, achèvent leur circulation sans produire d'autre action que l'usure mécanique,

---

(1) Une source émergeant d'un terrain calcaire, ayant le débit très réduit de 500 mètres cubes à l'heure et dont l'eau contient, en moyenne, par litre, 0<sup>sr</sup>,250 de carbonate de chaux, enlève ainsi aux terrains traversés, plus de 1000 tonnes, soit environ 500 mètres cubes de roche calcaire par an.

Les 25 millions de mètres cubes d'eau de la Vanne, amenés annuellement à Paris, représentent une extraction de près de 3000 mètres cubes de craie.

abstraction faite des balancements de composition, résultant des variations dans la teneur en acide carbonique libre ; variations qui peuvent donner lieu alternativement à des dépôts et à des attaques du carbonate de chaux.

L'enlèvement des matériaux souterrains ne peut se faire sans créer des vides et, par suite, des affaissements du sol. Si l'ensemble du terrain est uniformément perméable et si l'attaque peut exercer régulièrement son action, il y a abaissement lent de toute la surface intéressée. Le plus souvent, la circulation étant localisée, il y a dissolution ou attaque de la roche dans des points déterminés, l'affaissement du sol au lieu d'être général, se manifeste au-dessus des canaux souterrains ; or, comme ceux-ci correspondent généralement aux dépressions directrices de l'absorption des eaux superficielles, il y a creusement continu des mêmes vallons, par usure directe de ravinement et par effondrement. Quand le phénomène acquiert une certaine importance, il se forme ainsi, au-dessus des canaux internes, des vallées sèches pouvant atteindre des dimensions considérables.

La nature des terrains surmontant les couches attaquées par les eaux joue un grand rôle dans la forme de ces vallées d'effondrement. Les couches supérieures peuvent descendre sans perdre de leur volume propre, si elles sont

formées de roches inattaquables ; cela se produit notamment quand une formation de sables quartzeux surmonte des calcaires.

Quand l'usure mécanique et l'attaque déterminent d'importantes corrosions en des points localisés et si, pour des raisons quelconques de stabilité des terrains supérieurs, ceux-ci résistent à l'effondrement, il se forme des *cavernes*, des *grottes* ou de puissants *canaux souterrains*, sans que le relief du sol soit directement influencé ; il l'est même d'autant moins dans ce cas, que les eaux d'amont ayant trouvé une issue souterraine facile, échappent plus rapidement au ruissellement et ne causent plus de ravinement intense.

D'autres fois, l'effondrement se produit sans intéresser la hauteur totale du terrain qui surmonte les roches attaquées ; la partie inférieure seule, suit le mouvement de descente, les couches supérieures restant suspendues. Il se forme ainsi dans l'intervalle, des *cavités d'arrachement* qui peuvent être absolument sèches, et dont les parois ne portent aucune trace de la circulation d'eau qui les a indirectement formées.

**38 Fractures et plissements géologiques intéressant la circulation des eaux.** — Dans bien des cas, les canaux, utilisés par la circulation des eaux, ont pour origine et pour cause d'accroissement, non pas seulement cette

circulation elle-même, mais bien une action franchement géologique, et résultent de plissements ou de fractures.

La circulation superficielle est, dans certaines régions, nettement déterminée par des vallonnements de plissement. Un nombre plus ou moins grand de cours d'eau, coulent ainsi parallèlement, et quand il y a réunion ou communication d'une vallée à l'autre, elle est dans ce cas, généralement brusque et déterminée par une fracture transversale.

Dans la circulation interne, les mêmes lignes directrices jouent un rôle prépondérant sur des étendues quelquefois considérables.

Les canaux d'origine géologique, qu'il s'agisse de conduits puissants ou de simples fissures, sont souvent dans une même région, orientés suivant un très petit nombre de directions; il en est, par suite, de même des dépressions de toute nature, que la circulation de l'eau dans ces canaux, a pu déterminer à la surface du sol.

Dans les régions calcaires, on observe fréquemment des ressauts brusques du terrain superficiel, alignés sur les flancs des vallées, et généralement parallèles à l'axe de celles-ci. Ces ressauts, nommés *rideaux*, sont connus et décrits depuis longtemps; certains auteurs y voient la trace de l'action des eaux, d'autres, leur donnent une cause artificielle.

Dans un travail sur les phosphates des environs de Doullens, M. Lasnes <sup>(1)</sup> attribue nettement aux rideaux, une origine géologique. M. de Lapparent <sup>(2)</sup> les attribue simplement au déplacement progressif du terrain superficiel, sous l'influence du labourage.

A côté des rideaux, on voit fréquemment des *ravins secs* <sup>(3)</sup>, dépressions rectilignes ou nettement brisées, qui découpent transversalement les flancs des vallées. M. Lasnes, dans le travail cité, dit que les ravins secs marquent la transition entre les rideaux et les vallées.

Les petits rideaux, irréguliers et souvent courbes, peuvent dans bien des cas, être, en effet, dus aux travaux de culture ; mais il paraît impossible de refuser une origine géologique à ceux dont la hauteur atteint quelquefois plus de 5 mètres, et qui s'étendent sur plus d'un kilomètre. Ceux-ci, parfaitement rectilignes, existent généralement en plus petit nombre, ils sont parallèles aux vallées, ou forment avec elles des angles déterminés pour une même région.

La forme des ravins secs est le plus souvent

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XVIII, 2 juin 1890.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIX, 3 novembre 1890.

(3) H. BOURSULT. — *Ravins secs des terrains calcaires*. *Le Naturaliste* ; 2<sup>e</sup> série, n<sup>o</sup> 141, 15 janvier 1893.

géométrique et à éléments rectilignes, même quand les flancs de la vallée sont ondulés, par suite de la dénudation superficielle. Ils forment généralement, avec une même vallée, des angles nets et égaux.

Dans certaines régions particulièrement riches en ravins secs, il suffit de jeter les yeux sur une carte un peu détaillée, pour observer que la plupart des vallées, des ravins secs et des cours d'eau de nappes, forment un réseau d'aspect géométrique assez simple, et appartiennent tous à un très petit nombre de directions principales : le plus souvent deux.

Sans faire intervenir l'hypothèse de mouvements généraux, dont la direction intéresserait une étendue considérable, il est possible d'admettre que la continuité des mêmes actions détermine dans des régions plus ou moins étendues, des efforts successifs, amenant une série de fractures localement orientées, et pouvant s'intéresser jusqu'au simple craquellement des roches.

On trouve ainsi que, dans les roches homogènes, le craquellement détermine toujours dans une même région, des angles pseudo-cristallins, résultant de la direction des efforts géologiques.

La continuité des phénomènes de plissement, signalée par M. Marcel Bertrand, doit évidem-

ment se manifester ici <sup>(1)</sup>, et peut ainsi étendre son influence jusqu'aux moindres fractures.

Les vallées et ravins secs sont non seulement orientés, suivant un réseau à éléments rectilignes, mais ils présentent aussi en coupe le même aspect géométrique.

**39. Modifications de la perméabilité résultant des mouvements du sol.** — L'effondrement des terrains supérieurs, sous l'influence de la circulation de l'eau, dans les couches sous-jacentes, peut déterminer aussi des fractures, et par suite, des modifications importantes de la perméabilité des roches, dans les points intéressés.

Les roches ébouleuses peu cohérentes s'affaissent ; il y a tassement, mais la perméabilité générale est peu modifiée, et peut plutôt diminuer, à la suite du remplissage des vides primitifs par les fragments les plus petits.

Les roches dures et compactes se brisent, et donnent des fractures d'autant plus nettes, que la cohésion et la dureté sont plus grandes. Les canaux ainsi formés restent libres, et éminemment propres à la circulation de l'eau. Si la roche est grasse, peu cohérente, et surtout plastique, les fragments se resserrent et bouchent les

---

(1) M. BERTRAND. — *Continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris*. Bull. de la Soc. géologique de France, 3<sup>e</sup> série, t. XX, 1892, p. 118.

fractures au fur et à mesure de leur formation.

Les calcaires marneux, en particulier, sont dans ce cas ; ils peuvent supporter les plissements les plus importants, sans qu'il s'y produise la moindre fissure capable de laisser passer l'eau ; à plus forte raison, en est-il ainsi pour les argiles qui subissent tous les mouvements et compressions sans se fendre, et qui, de plus, sont capables de colmater les fissures des roches dures, immédiatement voisines.

La nature et l'épaisseur des couches, ayant subi l'effondrement ou des efforts mécaniques quelconques, interviennent donc dans l'importance et la forme des manifestations de ceux-ci.

Les modifications superficielles du sol sont d'autant plus nettes que les couches, directement attaquées sont plus près de la surface. Si les terrains supérieurs sont de nature à donner lieu au rebouchage des fractures, ou au simple éboulement, les vallées et ravins sont peu nets, intéressent une plus grande surface, et donnent lieu de préférence à de larges ondulations. Cependant, la direction en plan de ces affaissements est toujours nettement déterminée par celle de la circulation souterraine.

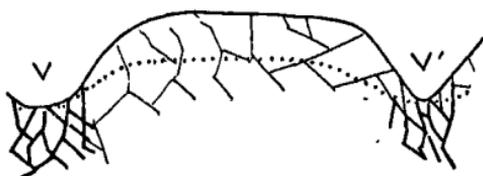
**40. Conclusions à tirer du relief du sol au point de vue de la recherche des eaux souterraines.** — Toute vallée qui paraît être due à un effondrement est l'indice probable

d'une circulation active de l'eau souterraine, plus ou moins directement au-dessous. Cette circulation interne est d'autant plus intense, toutes choses égales d'ailleurs, que la vallée a une origine de fracture plus certaine ; il y a alors le maximum de chances, pour que les canaux souterrains soient plus larges, et pour que la perméabilité de la roche intéressée soit plus parfaite.

Enfin, plus la circulation est facile dans les points indiqués, plus il y a de chances pour qu'elle soit réduite au minimum dans les autres parties, c'est-à-dire sous les plateaux :

Si on représente ainsi en coupe (*fig. 14*) un terrain perméable contenant une nappe libre, et

Fig. 14



si on suppose l'existence de vallées d'effondrement V et V', dues à la circulation souterraine, on voit les canaux largement ouverts au-dessous de ces vallées, et réduits, au contraire, au minimum sous le plateau. Cette représentation schématique est d'ailleurs facile à vérifier, en comparant dans les régions calcaires, les excavations ou carrières situées sur le bord des vallées, avec celles qui existent à quelque dis-

tance (1). Enfin, ce qui intéresse encore plus directement notre sujet, il suffit de comparer dans une même région, les débits relatifs de deux puits creusés dans une même nappe à moins de 100 mètres de distance, l'un, sur le plateau, l'autre, dans la vallée, ou même au pied d'un escarpement peu important, mais dont l'orientation générale est l'indice certain d'un effondrement. Le premier donne seulement quelques mètres cubes à l'heure, alors que le second en donne plus de 200.

Cependant, il faut noter que la perméabilité du terrain, au-dessus de la vallée peut, comme on l'a vu plus haut (§ 39), être très variable à des niveaux différents, quand la roche présente une structure plus ou moins plastique. Un puits ou forage peut donc pénétrer dans la nappe, au-dessous d'une dépression, sans rencontrer l'eau en abondance ; il est alors de toute nécessité de descendre assez bas, pour recouper les parties où se produit la circulation active.

**41. Bassins d'alimentation.** — Le bassin d'alimentation d'un torrent, est toujours nettement délimité par les lignes de faite topographiques, et est directement mesurable sur les cartes, il est essentiellement concave.

---

(1) H. BOURSAULT. — *Vallée sèche d'effondrement près de Roisel* (Somme). *Naturaliste*, 2<sup>e</sup> série, n<sup>o</sup> 265, 15 mars et 1<sup>er</sup> avril 1898.

Si on considère, au contraire, dans un terrain perméable la portion d'une nappe libre comprise entre deux vallées, on voit que son alimentation résulte de la pénétration de l'eau tombée sur le sol entre ces deux vallées, c'est-à-dire sur une surface convexe. Mais un cours d'eau recevant l'écoulement de deux demi-nappes, situées de part et d'autre de la vallée, a lui aussi un bassin d'alimentation concave.

Si maintenant on se rappelle que la forme de la surface hydrostatique de la nappe, est déterminée par la position de ses affleurements, et par la perméabilité du terrain, abstraction faite, dans une certaine mesure, du relief du sol, on est frappé de voir que le sommet du terrain peut ne pas être directement au-dessus du point culminant de la nappe. En se reportant à la coupe du plateau, entre les vallées de la Somme et de la Bresle (*fig. 5*), on voit la crête topographique à la cote 130, près de Woincourt, et le sommet de la nappe à la cote 80, entre Feuquières et Chépy, le sol étant au-dessus à 100 mètres d'altitude. La distance horizontale entre les deux points culminants, est de 7 kilomètres. Il résulte de là, que l'eau tombée sur le versant de la Somme, entre le sommet topographique et Feuquières, se rend par la nappe, dans la vallée de la Bresle.

Il s'agit dans l'espèce, d'une nappe très régu-

lière à circulation lente, dans une roche homogène peu perméable; si on envisage dans un terrain de même profil, une nappe à canaux librement ouverts, la surface hydrostatique sera moins élevée, mais le sommet sera sur la même verticale; la circulation étant, dans ce cas, très active, on pourra voir réapparaître au-delà de la crête topographique, peu de temps après son introduction, les liquides colorés <sup>(1)</sup>, introduits dans une ouverture naturelle, située sur l'autre versant, en G, par exemple. Ce point est dans le bassin géographique de la Somme, et dans le bassin hydrologique de la Bresle.

Le bassin d'alimentation d'un cours d'eau de nappe, est donc indépendant du relief topographique et ne peut être déterminé ou mesuré, ni sur une carte, ni sur le sol lui-même. Il est, suivant les cas, plus grand ou plus petit que le bassin géographique.

Enfin, une nappe comprise entre deux vallées, alimente toujours deux cours d'eau qui peuvent ou bien se réunir, ou bien s'éloigner, et appartenir à des bassins géographiques différents.

---

(1) MM. Martel et Ferray emploient depuis plusieurs années, des dissolutions de fluorescéine pour colorer les eaux souterraines, afin d'en déterminer les parcours cachés, toutes les fois que les conditions favorisent une réapparition rapide. Ce procédé a permis d'éclaircir ainsi des problèmes hydrologiques intéressants, et a montré des cas de circulation, au-dessous de lignes de partage des eaux superficielles.

## CHAPITRE V

### QUALITÉ DES EAUX

**42. Eaux météoriques.** — Les eaux météoriques arrivant sur le sol sous une forme quelconque, ne sont jamais chimiquement pures, elles contiennent non seulement en dissolution des sels minéraux et des gaz : air atmosphérique, oxygène, acide carbonique, azote, ammoniaque, etc., mais aussi en suspension des corps solides, minéraux et organiques.

L'évaporation naturelle, produite au-dessus d'une masse d'eau, dans une atmosphère pure, donne de la vapeur pure elle-même, mais cette vapeur, transportée par les vents, se condense à l'état vésiculaire et se charge par dissolution et attraction des divers corps gazeux ou solides contenus dans l'air.

Dans le voisinage de la mer, l'eau de pluie et les brouillards contiennent toujours une certaine quantité de sel marin.

La neige et la grêle contiennent généralement une grande quantité de corps solides de toutes natures.

Les corps solides ainsi entraînés peuvent être insolubles ou solubles, ces derniers sont donc capables d'être dissous par l'eau atmosphérique, après leur entraînement ou plutôt leur emprisonnement dans les molécules liquides. Cependant, quelle que soit la variabilité de composition des eaux météoriques, la teneur en corps minéraux dissous dépasse rarement 0<sup>sr</sup>,050 par litre.

Parmi les corps solides entraînés par les eaux atmosphériques, il faut citer les nombreux débris organiques morts ou vivants, arrachés par le vent à la surface du sol. Les bactéries, en particulier, peuvent ainsi, grâce à leurs dimensions et à leur poids des plus réduits, être contenues en très grand nombre dans le plus petit volume d'eau atmosphérique.

La numération relativement facile de ces micro-organismes, ainsi que l'intérêt attaché à ces recherches, ont permis de multiplier les analyses d'eaux pluviales et de l'air et de se rendre compte de l'importance des entraînements de matières solides dans l'atmosphère, en admettant, ce qui n'est certainement pas très éloigné de la vérité, qu'il y a proportionnalité entre la quantité de bactéries et celle des autres corps solides arrachés au sol.

La richesse microbienne de l'air est des plus variables, suivant les lieux. Loin des côtes, au-dessus de l'océan, la pureté est presque

absolue, ainsi que cela résulte des recherches de M. le C<sup>t</sup> Morteau et de M. le Docteur Miquel (1). Il en est de même dans les hautes régions montagneuses (2). Au contraire, l'atmosphère des villes et des lieux où la vie animale est intense à un titre quelconque, est particulièrement riche en bactéries (3).

On peut donc conclure que les eaux météoriques arrivent à la surface du sol avec une pureté équivalente à celle de l'atmosphère qu'elles ont traversée ; celle-ci dépendant elle-même de la nature et du degré d'altération des matériaux minéraux ou organiques du sol, dans les points où les vents ont pu permettre les entrainements.

Les gaz dissous sont très variables aussi, suivant les lieux, la température et la pression barométrique.

**43. Eaux superficielles.** — Les eaux météoriques arrivent donc à la surface du sol avec une pureté relative et une faible teneur en corps minéraux dissous ; mais avec une richesse va-

---

(1) *Les Bactéries de l'atmosphère marine*. Annuaire de l'observatoire de Montsouris, 1886.

(2) FREUDENREICH. — *Les Bactéries de l'atmosphère marine*. Annuaire de l'observatoire de Montsouris, 1884-1885.

(3) D<sup>r</sup> MIQUEL. — *Organismes vivants de l'atmosphère*. — Paris, Gauthier-Villars et fils, 1883.

riable et quelquefois très grande en germes organiques et en gaz provenant de l'atmosphère.

Le sol, sauf dans des régions exceptionnelles, est généralement chargé de matières organiques vivantes ou mortes. C'est à la surface même, ou dans les premières couches, que la vie animale et végétale existe avec le maximum d'intensité. L'eau qui arrive dans ce milieu est immédiatement soumise à une série de causes d'altération ou tout au moins de modification.

L'oxygène dissous est absorbé et brûle les corps réducteurs en excès plus facilement et plus rapidement que ne pourrait le faire l'oxygène de l'air sec. Si l'eau reste à la surface du sol, elle reprend à l'atmosphère une nouvelle quantité d'oxygène, il en résulte une combustion continuelle des éléments organiques ; échanges et réactions chimiques complexes, facilités souvent par les phénomènes biologiques.

L'eau se charge ainsi de produits azotés et carburés ; qui peuvent être entièrement oxydés ou, au contraire, avoir encore une puissance réductrice considérable, suivant leur nature et leur quantité, par rapport au poids d'oxygène que l'eau a pu dissoudre. Ce gaz disparaît et l'eau s'enrichit en azotates et en acide carbonique.

La présence et surtout le degré d'oxydation des produits azotés ont une très grande importance au point de vue de la qualité des eaux

potables, mais leur rôle est à peu près nul en ce qui concerne la minéralisation de l'eau. On sait combien, au contraire, l'acide carbonique dissous, attaque facilement certaines roches et principalement les calcaires.

L'eau qui circule ou pénètre dans le sol l'attaque donc toujours ; mais pour que cette attaque puisse se produire, il faut que le contact ait une certaine durée. Une simple dissolution et, à plus forte raison, une action chimique de cet ordre demandant toujours, pour se produire, un temps appréciable.

L'eau des torrents de montagnes est toujours très peu chargée de sels minéraux, quelle que soit la composition des roches sur lesquelles elle a circulé et dont elle entraîne des fragments ; même dans les lieux où les conditions pourraient permettre les réactions ou dissolutions.

L'action mécanique de ces eaux est, au contraire, très intense, elles charrient des quantités considérables de matériaux qui s'accumulent dans les points bas à pente plus faible. C'est là seulement que commencent les réactions et dissolutions, grâce à la plus grande lenteur de circulation. Le trouble des eaux superficielles est donc fonction directe de la vitesse d'écoulement, mais il est loin d'être proportionnel au degré d'altération organique ou de la minéralisation de l'eau.

Les eaux très troubles de certains torrents de hautes montagnes, ayant arraché des débris minéraux du sol, dans un endroit où la vie organique est faible ou nulle, sont souvent après simple décantation d'une pureté remarquable.

Les eaux troublées par les limons arrachés aux terrains de culture, sont, au contraire, riches en produits organiques et en bactéries ; il en est à plus forte raison de même, et à un degré souvent exagéré, pour les eaux boueuses des lieux habités.

Au point de vue de la minéralisation, il est rare que les eaux superficielles, même troubles, atteignent des degrés aussi élevés que celles des nappes souterraines.

**44. Eaux souterraines.** — L'eau d'infiltration doit donc traverser dans les premières parties de son parcours, une zone éminemment favorable aux transformations chimiques de ses éléments accessoires ; elle perd rapidement l'oxygène dissous, s'enrichit en acide carbonique et en matières organiques plus ou moins complètement oxydées, enfin, elle entraîne des bactéries du sol.

Cette eau arrive ainsi, à l'origine de son parcours souterrain, avec une pureté qui dépend directement de celle du sol avec lequel elle a été en contact plus ou moins long.

Si la pénétration est lente, tout l'oxygène

libre est transformé dans les premières couches. Il en résulte une diminution rapide du nombre des bactéries qui ne peuvent plus vivre ; d'après Fränkel (1), la quantité est réduite au centième à 1<sup>m</sup>,25 de la surface et devient nulle à 4 ou 5 mètres.

Ces résultats n'ont rien d'absolu et sont d'ailleurs extrêmement logiques ; mais il faut remarquer que le dosage des bactéries, comme ici comme dans les cas précédents, se rapporte uniquement aux espèces aérobies et indique la perte progressive d'oxygène.

Il est évident que, dans les cas de pénétration très rapide, l'oxygène n'a pas le temps d'agir au passage sur les divers corps réducteurs et peut s'engouffrer à des profondeurs considérables et y rendre la vie possible, même pour des animaux supérieurs, dans des lacs ou rivières souterrains (§ 34).

Cependant, dans les cas ordinaires, on doit admettre que l'eau ne contient plus d'oxygène dissous à peu de distance de la surface du sol ; la vie n'y est plus possible, ce serait donc une erreur de considérer comme absolument pure, une eau profonde dépourvue de bactéries ; elle peut contenir encore, en abondance, des spores beaucoup plus résistantes et des corps orga-

---

(1) *Zeitschrift für Hygiene*, t. II, 3<sup>e</sup> p., 1887.

riques nuisibles par eux-mêmes, ou tout au moins capables de faciliter la vie microbienne, quand cette eau, sortant du sol, pourra reprendre de l'oxygène et se réensemencer ; on a ainsi, dans le sol un bouillon de culture stérilisé mais plus ou moins nutritif.

Plus la surface et les premières couches du sol sont chargées de produits réducteurs, plus la perte d'oxygène et, par suite, la destruction de la vie microbienne est rapide.

La combustion chimique des corps organiques carburés, ainsi que les divers phénomènes biologiques, concourent à la production et à la dissolution dans l'eau d'une quantité d'acide carbonique qui est bien supérieure à celle qui équivaut à l'oxygène primitivement dissous.

C'est donc dès les premiers moments de son parcours dans le sol, que l'eau est capable de se charger de carbonates de chaux ou de magnésie et de toutes les substances minérales attaquables à un titre quelconque par l'acide carbonique.

A l'acide carbonique d'origine externe ou superficielle, s'ajoute, dans beaucoup de cas, celui qui vient de la profondeur ; l'attaque des roches peut donc être réalisée sur la plus grande partie du parcours souterrain de l'eau. Cependant, sauf de rares exceptions, comme au voisinage des régions volcaniques, on ne rencontre guère d'eaux contenant plus de 0<sup>sr</sup>,500 de carbonate

de calcium par litre, même avec un grand excès d'acide carbonique libre.

Dès que, pour une cause quelconque, diminution de pression ou augmentation de température, il y a départ d'acide carbonique combiné, il se produit un dépôt des carbonates terreux précédemment dissous ; ceux-ci peuvent d'ailleurs être ultérieurement redissous quand les conditions premières sont encore réalisées. L'histoire géologique des roches est remplie de ces attaques et précipitations successives.

Les simples dissolutions se produisent également avec une intensité variable, toutes les fois que les conditions de solubilité et de temps de contact s'y prêtent, et donnent lieu aussi aux mêmes phénomènes alternatifs d'extraction et de précipitation.

Dans les nappes profondes et puissantes, il est évident que la composition chimique de l'eau subit l'influence des conditions physiques spéciales et varie d'autant moins, que le régime de la nappe est lui-même plus constant.

Quand les conditions de circulation permettent la stagnation plus ou moins complète de l'eau au contact des roches, l'attaque et la dissolution de celles-ci s'exercent avec le maximum d'intensité. La circulation capillaire est particulièrement active à ce point de vue. Quand les sels sont assez solubles pour que la

densité de l'eau soit sensiblement modifiée, il peut se produire, dans des parties dormantes à la base des nappes, surtout quand les points d'émergence sont relativement élevés, de véritables poches de saturation. Cela se produit particulièrement avec le sulfate de chaux et surtout avec le chlorure de sodium.

Les produits réducteurs, organiques ou minéraux entraînés par l'eau d'infiltration ne rencontrant plus dans la profondeur d'oxygène libre, s'attaquent aux composés oxygénés minéraux les moins stables. Parmi ceux-ci, il faut citer d'abord les sulfates, principalement celui de chaux, et les oxydes et sels ferriques. .

Le sulfate de chaux est réduit à l'état de sulfure de calcium ; celui-ci, en présence de l'acide carbonique et de l'eau, donne du carbonate de chaux et de l'hydrogène sulfuré qui reste en dissolution et se dégage quand l'eau arrive à l'air. Cette réaction se produit naturellement avec intensité dans les nappes circulant au sein des roches gypseuses ; mais, les eaux complètement exemptes de sulfate de chaux étant tout à fait exceptionnelles, il est très rare de ne pas observer à l'arrivée à l'air des eaux profondes une très légère odeur sulfhydrique. L'hydrogène sulfuré existe alors en proportion infinitésimale, échappant à l'analyse ; il ne faut pas alors, considérer ce gaz comme un indice de

mauvaise qualité. Les éléments réducteurs des eaux profondes sont le plus souvent d'origine exclusivement minérale.

Les composés du fer donnent lieu dans le sol à une succession d'attaques, de réductions et d'oxydations provoquées par les eaux souterraines dont la composition est, par suite, modifiée. Dans le milieu réducteur des nappes profondes, on ne connaît guère que des roches dans lesquelles le fer est au minimum d'oxydation; quand ces composés ferreux sont dissous, ils communiquent à l'eau un goût d'encre caractéristique, fréquemment observé dans beaucoup d'eaux profondes. Ces eaux très limpides à l'émission, se troublent rapidement à l'air par oxydation; il se forme un précipité rouge d'oxyde de fer plus ou moins noirci par la présence simultanée fréquente d'hydrogène sulfuré.

Des eaux profondes, de qualité remarquable, peuvent ainsi présenter un aspect repoussant. Il suffit, dans ce cas, de faciliter l'oxydation à l'air et la décantation pour obtenir une excellente eau potable. Malheureusement, l'effet moral produit est souvent désastreux et il est fréquent de voir préférer à de telles eaux, d'autres absolument contaminées, mais toujours limpides.

**45. Mélange des Eaux.** — Tous les mélanges de nappes et de cours d'eau donnent lieu à des réactions entre les éléments solubles.

Parmi les mélanges donnant lieu à des modifications importantes, on doit évidemment citer ceux qui résultent de l'épanchement dans une nappe, d'eaux minérales fortement chargées. Nous n'avons pas à examiner celles-ci en elles-mêmes, mais il faut en tenir compte comme facteurs de la composition des eaux ordinaires, là où les fractures du sol peuvent permettre le contact.

Le voisinage de la mer a, comme on l'a déjà vu, une influence manifeste sur la composition des eaux souterraines. Quand une nappe passe sous la mer et vient, dans un terrain perméable, au contact de celle-ci, il se produit directement au-dessous et même latéralement, comme l'a fait remarquer Verstraeten <sup>(1)</sup>, une lutte de niveau et de qualité entre les deux eaux.

Il se produit alors des réactions chimiques et des dialyses.

Les eaux des nappes voisines de la mer et situées au-dessous du niveau de celle-ci, sont toujours plus chargées de sels solubles que les autres <sup>(2)</sup>.

---

(1) VERSTRAETEN. — *Les eaux alimentaires de la Belgique*, 2<sup>e</sup> partie, p. 54.

(2) Beaucoup de ces eaux sont cependant encore relativement douces et potables.

Les eaux des forages de Venise sont douces à plus de 60 mètres au-dessous du niveau de la mer.

A côté d'un certain nombre de réactions et séparations simples, bien déterminées, il s'en produit d'autres qui sont mal expliquées ; telle est, en particulier, la formation des carbonates et sulfates alcalins et spécialement de ceux du sodium, qu'on trouve en abondance dans la plupart des eaux profondes au voisinage de la mer et dans certains terrains, à grande distance de la côte ; comme par exemple, dans l'eau des forages profonds du Nord, soit dans les fissures des terrains primaires, soit même, en certains points, dans les divers étages de la craie ou dans les sables glauconieux du tertiaire inférieur. Ces eaux sont-elles ou ont-elles été en contact plus ou moins direct avec la mer ? Cela paraît très probable (1).

**46. Température.** — La température des eaux naturelles ordinaires varie dans des limites relativement faibles ; elle n'a, par suite, que peu d'importance en elle-même ; mais il est utile d'en suivre les modifications au point de vue de l'étude du régime et de l'origine de ces eaux.

Grâce à sa grande capacité calorifique, l'eau perd lentement sa température initiale. On a vu (§ 32) que les eaux de nappes résistent très longtemps à la congélation. Les eaux super-

---

(1) J. GOSSELET. — *Alimentation des villes du Nord de la France*. Ann. Soc. Géologique du Nord, XXVII, 1898, p. 291.

ficielles, au contraire, directement influencées par les variations de température de l'air et du sol, s'échauffent et se refroidissent avec ceux-ci. A ce point de vue encore, on voit les eaux souterraines plus constantes que celles dont la circulation est uniquement superficielle.

L'eau souterraine étant en un point déterminé à la même température que le terrain encaissant, sauf dans les cas de circulation exceptionnellement rapide, l'observation thermométrique peut donner des indications précieuses, quand il s'agit de déterminer quel est le niveau de rencontre (§ 16) d'une eau ascendante dans un forage.

**47. Limpidité, clarification naturelle.** — La vitesse de circulation est, toutes choses égales d'ailleurs, le principal facteur du trouble des eaux. Une eau indéfiniment en repos finit toujours par subir une décantation complète, quelles que soient la finesse, la densité et la nature des corps qu'elle tient en suspension. Le dépôt se faisant, comme on sait, par ordre de densité et de grosseur.

La rapidité de la décantation est, pour un même précipité chimique ou pour un même trouble quelconque, variable avec les eaux ; certaines se clarifient en quelques heures, alors que d'autres, dans des conditions identiques, sont encore louches après plusieurs jours de

repos. La loi de ce phénomène est jusqu'à présent inconnue. Ce qui est seulement certain, c'est l'influence d'une forte agitation sur la rapidité de la décantation ultérieure : Plus un liquide trouble est battu, plus il se clarifie rapidement.

Le degré de limpidité d'une eau ne donne aucune indication précise sur sa qualité, mais elle constitue un des caractères physiques les plus directement observables et peut, à juste titre, être un élément de suspicion pour les eaux troubles. Tout dépend non pas de la nature des matériaux minéraux entraînés, mais, comme on l'a vu (§ 43) du lieu d'origine de ces éléments. Le sol étant en certains points très riche en matières organiques et en bactéries, on en a quelquefois conclu, d'une façon un peu trop rapide, que le trouble est toujours l'indice d'une grande richesse microbienne, même pour les eaux souterraines. Il est cependant évident que pour les eaux superficielles provenant des lieux cultivés ou des prairies, par exemple, pour ne pas parler des lieux habités, il est à craindre, l'expérience l'a d'ailleurs démontré, que chaque fragment minéral entraîne avec lui un très grand nombre de bactéries et de matières organiques.

Pour les eaux souterraines, ce rapport entre le trouble et les entraînements organiques ou microbiens n'est vrai que dans les cas de pertes et de réapparitions rapides des eaux de la surface.

Dès que l'eau est chicanée dans le sol, sans qu'il soit indispensable d'admettre pour cela des canaux trop réduits, le trouble diminue naturellement et, s'il se produit, il change complètement de caractère. Mettant de côté toute question d'épuration chimique ou biologique par le sol, celle-ci ne pouvant agir que dans les couches tout à fait superficielles, considérons uniquement le problème physique de la clarification d'une eau contenant à la fois en suspension, des éléments minéraux et organiques.

Il est de toute évidence que les fragments les plus gros pourront être retenus quand les conduits seront plus petits qu'eux ; il y a là criblage. La fonction d'un filtre est bien moins simple ; à côté de ce rôle de crible, il en remplit un beaucoup plus complexe qui lui permet de retenir dans bien des cas la totalité des matériaux en suspension, quand le chemin parcouru est suffisant.

La vitesse réduite du passage de l'eau dans un grand nombre de canaux, permet la décantation progressive de fragments solides beaucoup plus petits que ces conduits ; il se fait ainsi sur un long parcours souterrain un véritable alluvionnement. Enfin, à côté de ce dépôt des corps relativement lourds, dans les canaux obliques ou horizontaux ; l'adhérence moléculaire agit sur les corpuscules les plus légers. Une eau

trouble circulant dans un conduit quelconque dépose sur les parois une partie de ces molécules légères ; mais, alors que la décantation commence par abandonner les fragments les plus lourds, l'adhérence moléculaire agit sur les plus légers. En outre, le dépôt se produit dans ce cas, aussi bien sur les parois verticales ou renversées des canaux que sur les parties horizontales (1).

Les parties les plus légères étant précisément les corps organiques et les bactéries, l'adhérence moléculaire intervient comme le principal facteur de l'épuration par circulation souterraine, les éléments minéraux plus denses et généralement plus volumineux sont entraînés plus loin. On peut admettre qu'ils constituent seuls le trouble des eaux, après un certain parcours.

La vitesse du courant jouant un rôle prépondérant dans toute précipitation d'eau trouble, il en résulte qu'une augmentation de cette vitesse doit remettre en mouvement des corps solides précédemment déposés. Tout changement de régime d'une nappe, capable de modifier la vitesse

---

(1) L'adhérence moléculaire joue un grand rôle dans toutes les questions de filtration naturelle ou artificielle. En outre, la division extrême des veines liquides produite par les éléments du filtre équivaut jusqu'à un certain point à une agitation, à la suite de laquelle la décantation est plus rapide dans le filtre lui-même.

d'écoulement dans les canaux, modifie aussi les conditions de la décantation ; toute augmentation de circulation par suite d'une alimentation intense peut donc donner lieu à un trouble plus ou moins fort.

Si on envisage ce qui se passe, non plus dans la nappe, mais dans la zone du terrain soumise aux fluctuations du niveau hydrostatique, on voit celle-ci produire une sorte de remous qui soulève en remontant les dépôts abandonnés dans le mouvement inverse.

Mais si cette influence se fait sentir jusqu'aux sources, cela fait supposer que le régime de la nappe n'est pas constant ou que l'eau n'a pas, dans le sol, un parcours très étendu ; ces deux conditions défectueuses étant d'ailleurs généralement réunies.

---

# PARTIE PRATIQUE

---

## CHAPITRE VI

---

### GÉNÉRALITÉS

**48. But à atteindre.** — Les problèmes de recherche d'eau se présentent avec une variété infinie. La quantité et la qualité doivent l'une ou l'autre, et souvent l'une et l'autre, attirer l'attention du prospecteur.

Au point de vue de la quantité, il peut être question de donner par jour, quelques litres à un ménage isolé, quelques hectolitres à une petite usine ou des milliers de mètres cubes pour l'alimentation d'une ville ou d'une puissante industrie.

Pour des irrigations, des lavages grossiers, etc., la quantité seule est en jeu.

Quand il s'agit d'alimenter des générateurs à vapeur et, en général, dans tous les cas où l'eau doit être concentrée ou chauffée, il faut éviter les *eaux dures* qui déposent les sels minéraux contenus en dissolution. On connaît les graves

inconvéniens occasionnés dans les chaudières par la présence des incrustations : mauvaise conductibilité calorifique et, par suite, perte de combustible, ou coups de feu, c'est-à-dire avaries importantes et, dans certains cas, explosions désastreuses.

Dans l'industrie chimique, les réactions accessoires dues à la présence des sels minéraux de l'eau, sont extrêmement gênantes.

Quant aux *eaux potables*, elles doivent naturellement répondre à des conditions spéciales de pureté qui en rendent la recherche et le choix des plus délicats.

Il est souvent impossible de satisfaire toutes les conditions, on est obligé de choisir, parmi diverses solutions, celle qui se rapproche le plus du but. L'étude hydrologique servant alors à fixer le choix suivant les circonstances.

La recherche des eaux potables n'est qu'un cas particulier des études générales ; pour la quantité, par exemple, le problème est toujours identique, quels que soient les usages de l'eau. L'étude pratique générale de la question va donc être faite dans son ensemble et on trouvera dans un dernier chapitre des données spéciales aux eaux potables.

**49. Champ des recherches.** — La facilité de résoudre un problème de recherche d'eau dépend beaucoup de la faculté plus ou moins

grande qu'on a de se déplacer pour faire le captage. Dans le cas d'une simple habitation ou d'une usine ayant peu de surface, on ne peut s'éloigner, il faut nécessairement chercher l'eau uniquement en profondeur ; d'autres fois, il s'agit d'une ville ou d'une industrie importante qui ne reculent pas devant les frais d'une longue canalisation ; on peut alors augmenter le périmètre des recherches.

Le cas est le même, quand l'emplacement d'une usine dépend de celui de la prise d'eau qui doit l'alimenter (1).

**50. Études géologique et hydrologique.** — 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 de 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

---

(1) Cette recherche préalable de l'eau devrait être la règle pour toute nouvelle usine ; malheureusement, il n'est pas rare de voir des industriels construire leur établissement, en y comprenant même les réservoirs, avant de savoir s'ils trouveront de l'eau.

à leur contact. L'examen doit s'étendre à tout le parcours des eaux qu'on veut utiliser ; on les suit avec soin dans tous les terrains traversés ; depuis le lieu de pénétration jusqu'aux points d'émergence.

La connaissance précise de l'âge des couches intéressées n'a pas de valeur hydrologique absolue, mais il faut s'attacher cependant à l'étude minutieuse des fossiles caractéristiques pour en reconnaître le plus possible les moindres fragments dans les échantillons, généralement broyés, qui sont extraits des forages ou des puits. Ces débris, informes et méprisables pour le collectionneur, ont ici une valeur réelle pour fixer la position et l'allure souterraine d'une couche.

L'examen attentif des fossiles est, dans ce cas, d'autant plus utile, que l'aspect des roches est bien différent dans le sol, de celui qu'il présente en affleurement. Tel sable ferrugineux, vert en profondeur, dans un milieu réducteur, est rouge ou jaune à la surface sous l'influence de l'air et de l'eau contenant de l'oxygène libre. Un sable quartzeux, à peine argileux, de couleur grise à l'air, devient presque plastique et noir dans la profondeur, sous l'influence de l'humidité hygroscopique ; il peut donc paraître perméable alors qu'il est, en réalité, beaucoup trop serré pour laisser circuler l'eau.

Enfin, dans le sol lui-même, les roches

changent quelquefois complètement d'aspect et deviennent méconnaissables suivant qu'elles existent au-dessous ou au-dessus du niveau hydrostatique. M. G. Dollfus a attiré l'attention sur les changements de caractères de certaines couches du calcaire grossier, rencontrées ainsi dans des forages profonds au sud de Paris <sup>(1)</sup>.

L'étude géologique théorique terminée, il faut s'en servir pour dresser des coupes hydrologiques. M. Derennes a l'habitude de faire figurer ainsi, sur les coupes géologiques, l'indication des caractères, connus ou supposés, de perméabilités des différentes couches. Cette première base est indispensable, mais il est prudent de tenir compte de l'incertitude de cette perméabilité, qui peut varier d'un point à un autre, dans une même région.

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 faciès local et de la stratigraphie.

On questionne ensuite les habitants et, si cela est possible, les puisatiers sur la nature des

---

(1) DOLLFUS (G). — *Recherches sur la limite sud-ouest du calcaire grossier dans le bassin de Paris*. Bulletin de la Société géologique de France, 3<sup>e</sup> série, t. XXV, p. 597.

couches traversées dans les puits ou forages, ainsi que sur le régime des eaux rencontrées. On recueille le plus grand nombre possible de renseignements, si invraisemblables souvent qu'ils paraissent ; les personnes qui les donnent, ne comprennent pas toujours les questions posées, les interprètent faussement et induisent en erreur avec la meilleure intention. Il faut examiner à loisir ces données et, au besoin, recommencer les questions ou ce qui est souvent préférable, écouter simplement sans chercher à diriger d'une façon trop précise le questionnaire.

Ce qu'il faut éviter d'accepter sans contrôle, ce sont les conclusions ; il ya souvent, dans l'interprétation des faits, de graves erreurs, dont certaines sont pour ainsi dire classiques :

Une région dont le sol est argilo-marneux, peu perméable, par conséquent, présente en abondance des marécages et des mares, les puits fournissent une faible quantité d'eau, mais suffisante pour les besoins des habitants ; on ne manque pas de dire, dans ce cas, que la nappe est puissante et existe partout. Un puits pouvant donner 100 litres d'eau quand on ne lui en demande que 80 est dit inépuisable ; un autre, fournissant à une usine 100 mètres cubes à l'heure, alors qu'on en voudrait 120, est regardé comme mauvais. C'est une question de mesure, mais chacun ne voit que ce qui le

frappe : l'excès de la production sur la consommation ou inversement.

Quand on aborde enfin les questions relatives à la nature des terrains, on se heurte aux désignations locales, d'autant plus difficiles à comprendre souvent que ce sont des noms faussement appliqués ; mieux vaut entendre franchement un mot en lui-même incompréhensible. Une roche dure est souvent nommée granite ; la potasse désigne dans certaines régions des argiles très plastiques ; quant au mot marne, il s'applique à une infinité de terrains, depuis des argiles pures, jusqu'à la craie franche.

On doit donc, toutes les fois que cela est possible, se faire montrer des échantillons des roches désignées.

---

## CHAPITRE VII

### RECHERCHE DES EAUX SUPERFICIELLES

**51. Conditions d'utilisation.** — Le débit, le régime et la qualité doivent spécialement attirer l'attention quand il s'agit d'utiliser les eaux superficielles. La recherche proprement dite étant simplifiée par leur essence même.

Le débit immédiat et le régime dépendent de la nature du cours d'eau. L'étude première sur les cartes topographique et géologique fournit des données qu'il faut ensuite contrôler sur place, surtout dans les cas douteux. L'examen des rives montrera si l'eau subit de grandes fluctuations de niveau dans un lit profond, ou s'étend, au contraire, sur une grande surface dans une vallée à faible pente transversale. Ces observations, jointes aux renseignements qu'on peut obtenir des riverains, sur la congélation plus ou moins facile de l'eau, indiquent si on est en présence d'un cours d'eau à régime torrentiel (§ 31). Dans ce cas, les expériences de débit doivent être répétées en diverses saisons et même pendant plusieurs années.

Un véritable torrent de montagne est suffisamment caractérisé pour qu'il n'y ait aucune hésitation sur son régime.

Si, au contraire, on voit un cours d'eau à allure tranquille, dont les rives ne portent aucune trace de fluctuations de niveau, si la gelée y est inconnue et si, dans le voisinage des sources, les eaux montent ou descendent dans la vallée, sans qu'il y ait assèchement longitudinal total, si enfin, le débit va toujours en augmentant de l'amont vers l'aval, on est en présence d'un cours d'eau de nappe (§ 32).

Si le point d'utilisation est élevé dans la vallée considérée, la prise directe peut être rendue difficile par l'abaissement du plan d'eau qui assèche périodiquement le thalweg, mais on peut être certain de pouvoir retrouver cette eau en creusant le sol de la vallée d'une faible quantité. On passe ainsi de la prise d'eau en rivière au captage souterrain.

Le régime d'un cours d'eau a une importance capitale sur les conditions d'utilisation. Quand le débit est constant, il suffit de puiser l'eau nécessaire au fur et à mesure de son arrivée. Si le régime est torrentiel et si le débit, trop faible dans certaines saisons, devient, au contraire, trop élevé dans d'autres, il faut avoir recours aux procédés classiques des barrages et des serremments.

**52. Étude du bassin d'alimentation.** — L'ensemble du bassin d'alimentation doit être examiné avec soin, tant au point de vue de l'influence que peuvent exercer les terrains sur le régime, qu'à celui de la qualité des eaux. On suit, sur la carte géologique d'abord, et ensuite, s'il le faut sur le terrain, le cours d'eau principal et chacun de ses affluents ; on note les zones de passage des parties perméables et imperméables et on recherche toutes les causes capables de modifier la nature des eaux, qu'il s'agisse de roches solubles et attaquables, ou de matières résiduaires.

L'analyse minérale sommaire du cours d'eau principal, en amont et en aval de chaque affluent, donne une indication précieuse sur le rôle de celui-ci et peut, jusqu'à un certain point, dispenser de l'examiner plus complètement.

Au point de vue du débit, il y a toujours avantage à placer une prise d'eau en aval d'un affluent, mais il peut en être tout autrement pour la qualité.

**53. Pertes et réapparitions.** — Les pertes plus ou moins complètes de cours d'eau sont beaucoup plus fréquentes qu'on ne croit ; à côté de disparitions totales, il existe de nombreuses absorptions partielles peu visibles qui ont une grande influence sur la qualité, car, dans bien des cas, la perte est suivie d'une réapparition en aval et, si l'eau absorbée est de mauvaise qualité,

elle peut ressortir sans amélioration, mais avec des caractères physiques trompeurs (§ 43).

On doit donc observer attentivement les cours d'eau dans les parties où leur lit est en terrain perméable, en se rappelant que le débit, peut ne pas augmenter de l'amont vers l'aval, quand le régime est torrentiel, mais que, dans aucun cas, il ne doit y avoir diminution <sup>(1)</sup>. Si cela se produit, il y a perte souterraine.

Inversement, une augmentation subite et anormale du débit est un indice de réapparition.

On doit alors étudier ces phénomènes au moyen de la coloration artificielle des eaux (§ 41), qui seule peut donner la clé de cette circulation souterraine.

---

(1) Abstraction faite évidemment de l'évaporation.

## CHAPITRE VIII

—

### RECHERCHE DES EAUX SOUTERRAINES

**54. Étude hydrologique.** — L'étude hydrologique préalable est, dans le cas de la recherche des eaux souterraines, absolument indispensable; une seule coupe, dressée suivant les principes définis précédemment (§ 50), est souvent insuffisante, il faut en établir au moins deux dirigées, l'une suivant la ligne d'écoulement principal de la nappe considérée, et l'autre, transversalement, en un point choisi pour bien montrer l'allure des couches, les premières données générales sur l'existence de l'eau souterraine, pouvant, la plupart du temps, être déduites de l'examen des cartes.

Une nappe étant nettement définie, on doit rechercher ses affleurements, la position de son support imperméable, et déterminer toutes les ondulations de celui-ci, s'il y a des sources de déversement (§ 23). Dans les cas où ces sources sont cachées ou déviées (§ 26), on doit s'efforcer de fixer la position du véritable point de déverse-

ment. Pour les nappes captives, il faut nécessairement rechercher la position des couches imperméables, intéressées ainsi que le niveau piézométrique.

Enfin, dans tous les cas, l'étude minutieuse du bassin d'alimentation doit être faite, tant au point de vue de l'importance de l'absorption, qu'à celui de la qualité première de l'eau d'infiltration (§ 44).

L'examen de tous les puits intéressés par la même nappe donnera de précieuses indications sur le régime. Les données théoriques relatives à la circulation souterraine étant généralement impossibles à fixer, il faut analyser tous les renseignements pratiques, pour remonter de l'effet à la cause; c'est ainsi que l'observation directe du débit des sources et des puits est seule capable de fournir des données sur la perméabilité réelle des terrains contenant une nappe (§ 27).

## SOURCES

**55. Recherche et utilisation.** — La recherche des sources est, dans la plupart des cas, essentiellement évitée ou peut, tout au moins, être effectuée sur les cartes et contrôlée sur le terrain. Il s'agit souvent uniquement de compléter l'étude de la nappe alimentaire des sources

observées, et d'exécuter les travaux de captage.

Pour les sources déviées ou cachées, il doit y avoir recherche effective, au moins en ce qui concerne le point normal d'émergence; on se base sur la connaissance géologique du sol, et sur les données fournies par les puits supérieurs. Ces sources étant souvent à flanc de coteau, ou à la base de ceux-ci, masquées par de faibles couches de recouvrement; il n'est pas rare alors d'être guidé par des caractères extérieurs spéciaux d'humidité : végétaux, insectes, etc.; c'est un des rares cas où ces indications peuvent avoir une valeur réelle.

Une source étant connue, il s'agit de la capter, c'est-à-dire d'effectuer les travaux nécessaires pour utiliser l'eau, dans les meilleures conditions de qualité et de débit.

L'eau très pure d'une nappe profonde ne peut réapparaître en source, sans traverser de l'intérieur à l'extérieur les couches superficielles capables de lui rendre les matières organiques ou les bactéries, que la circulation souterraine a pu lui faire perdre. Au point de vue minéral également, les matériaux détritiques de recouvrement peuvent communiquer à l'eau des propriétés nouvelles qu'on doit éviter.

Il faut donc aller chercher l'eau aussi loin que possible dans la nappe elle-même, par puits ou galerie, afin de dépasser la zone d'altération.

Le débit d'une source, doit être l'objet d'une série de jaugeages, effectués en diverses saisons. On recherchera ainsi, non seulement le débit de la source considérée, mais aussi celui des autres déversements visibles ou cachés de la même nappe.

Pour les sources d'émergence, on n'a pas à s'inquiéter du support imperméable, mais, pour celles de déversement, il faut déterminer aussi exactement que possible, la position et l'allure de cette couche, qui présente généralement des ondulations, donnant lieu à des sources secondaires (§ 23); celles-ci étant connues, on verra s'il est utile et possible de les diriger vers la principale, ou vers un point déterminé d'écoulement.

Le débit d'une source, ou d'un ensemble de sources, étant connu, peut-on l'augmenter par des travaux spéciaux?

Si on se rappelle que, toutes choses égales d'ailleurs, le débit dépend de la réserve souterraine utilisable (§ 19), et que celle-ci est fonction de l'alimentation de la nappe (§ 17), on voit que, ne pouvant, en aucun cas, augmenter la quantité d'eau qui tombe dans le bassin d'alimentation, *il est impossible d'augmenter d'une façon permanente le débit d'une source.*

Dans la plupart des captages, on abaisse plus ou moins le sol au-dessous du point d'écoulement naturel.

Pour les sources de déversement, l'abaissement consistant à entamer le support sur une partie seulement de l'affleurement, on ne change pas ordinairement les conditions de l'écoulement; le volume de la réserve n'est pas influencé, le débit reste constant.

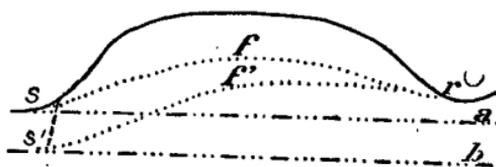
Quand on abaisse le point d'écoulement d'une source d'émergence, on abaisse, par suite, le point d'émergence de la nappe elle-même; la charge au-dessus de la source augmente, le débit devient plus fort. Mais la forme de la surface hydrostatique est déterminée par l'importance de l'alimentation, et par la position des points d'émergence (§ 15); un de ces points étant abaissé, le niveau hydrostatique s'abaisse, au bout d'un temps plus ou moins long, mais arrive toujours à la même hauteur, par rapport au point d'écoulement. Le débit reprend sa valeur primitive.

Supposons (*fig. 15*) une nappe libre avec deux sources  $s$  et  $r$ , la surface hydrostatique est indiquée en  $s, f, r$ . La réserve utilisable est comprise entre cette surface et le plan horizontal  $s, a$ . Si on abaisse en  $s'$  le point d'écoulement  $s$ , le débit sera augmenté, grâce à l'excès de pression  $ss'$ ; le plan horizontal, limite inférieure de la réserve est abaissé en  $s'b$ , cette réserve est donc aussi augmentée; mais l'alimentation restant constante, le débit ne peut conserver

sa nouvelle valeur, la courbe hydrostatique s'abaisse progressivement jusqu'en  $s'f'r$ ; le débit reprend sa valeur primitive.

Les travaux de captage peuvent donc être exécutés, dans le but de réunir plusieurs sources

Fig. 15



en un point déterminé, pour augmenter le débit de l'une d'elles au détriment des autres; mais il est absolument impossible d'augmenter d'une façon permanente le débit total.

## PUITS ET FORAGES

**56. Définition.** — Si, d'un point quelconque de la surface du sol, situé au-dessus d'une nappe, et quelles que soient d'ailleurs, la nature et l'épaisseur des terrains qui recouvrent celle-ci, on fait un trou vertical, descendant jusqu'à l'eau, on a un puits ou un forage.

La distinction entre le puits et le forage, se rapporte uniquement au mode de construction : Le puits est exécuté par des ouvriers qui descendent eux-mêmes dans le trou, au fur et à mesure de l'approfondissement. Le forage, au

contraire, est exécuté entièrement sans quitter le sol, au moyen d'outils progressivement allongés, qui permettent de creuser et de remonter les roches traversées.

Pour descendre un puits au-delà de l'eau, on est obligé d'extraire celle-ci ; l'approfondissement n'est donc possible que si les épuisements sont supérieurs au débit de la nappe ; on ne peut donc pratiquement, descendre un puits ordinaire beaucoup au-delà de la surface hydrostatique.

Dans le cas d'une nappe captive (§ 12), on pourrait, quand il n'existe aucune nappe libre trop puissante au-dessus, descendre un puits jusqu'au niveau de rencontre (§ 16), mais il y aurait alors jaillissement au fond de ce puits et danger pour les ouvriers.

Le forage ne demandant pas de descente des travailleurs, peut traverser les nappes sans épuisements, il peut donc aller beaucoup plus bas, et atteint, en effet, facilement des profondeurs considérables.

Le puits exige pour le passage du puisatier, un diamètre assez grand. Le forage qui peut être aussi exécuté à très large section, n'a, dans bien des cas, que quelques centimètres de diamètre.

Les puits ou forages, peuvent être creusés sans revêtements spéciaux, quand la nature et la compacité des roches s'y prêtent ; le plus souvent, il est nécessaire de maintenir les parois.

Les puits sont alors maçonnés, ou dans quelques cas spéciaux, cuvelés en métal ou en bois. Les forages sont, garnis de tubes en métal (généralement en fer). L'usage primitif du bois pour les tubages de forages, existe encore dans certains pays (1).

Les tubages sont encore employés pour isoler des nappes traversées, qu'on ne veut pas utiliser, soit pour leur qualité, soit pour leur niveau.

Une forme particulière de forage, est connue sous le nom de *puits instantané*. Il s'agit de l'enfoncement rapide, à coups de mouton, d'un tube en fer de petit diamètre; la base percée de trous, est arrêtée dans une couche aquifère, et on monte directement, sur la tête du tube, une pompe ménagère, à moins qu'il n'y ait jaillissement. Le puits instantané enfoncé par percussion, refoule latéralement les terrains traversés, il n'y a pas d'extraction de ceux-ci, on n'a donc que des données incomplètes sur leur nature. Mais il y a serrage des couches sur le tubage et,

---

(1) Le bois résiste souvent mieux dans certains terrains que le fer, qui est attaqué et détruit plus ou moins complètement en quelques années.

On emploie aussi avec succès souvent, un double tubage en tôle, avec coulage de ciment dans l'intervalle des deux tubes; quand le travail est bien exécuté, le métal peut disparaître, il reste un solide tube en ciment.

par suite, un isolement assez bon des eaux trop superficielles. Les puits instantanés dépassent rarement 12 ou 15 mètres.

Les puits, et surtout les forages, peuvent traverser complètement une ou plusieurs nappes, il en résulte naturellement des mélanges, au point de vue de la qualité; et ces nappes, ayant des régimes et des niveaux différents, il y a, par l'intermédiaire du canal artificiel ainsi créé, des déversements et des alimentations accessoires, réglés par les débits relatifs. Ce sont ces rencontres de nappes, ou de parties plus ou moins perméables d'une même nappe, qui déterminent les fluctuations du niveau de l'eau dans un forage en exécution (§ 18).

**57. Recherche de l'emplacement.** — Une nappe souterraine étant connue et suffisamment déterminée, comme position et comme régime, par l'étude géologique et hydrologique préliminaire, il n'est pas indifférent de l'atteindre, au moyen d'un puits ou forage, en un point quelconque.

Partout on aura, il est vrai, une certaine quantité d'eau au-dessous du niveau hydrostatique, mais le débit variera d'un point à un autre dans des limites quelquefois considérables.

On ne peut cependant rien dire de précis à ce sujet, par suite de l'ignorance dans laquelle on est toujours de la perméabilité absolue des

couches intéressées ; mais c'est le cas d'appliquer les considérations relatives aux indications fournies par le relief du sol (§ 40). De tout temps et d'une façon pour ainsi dire instinctive, on a cherché l'eau souterraine de préférence dans les vallées. L'expérience montre, en effet, que c'est là que l'on trouve le plus d'eau.

On dit quelquefois que le débit est plus grand dans les vallées parce que la charge y est plus forte, cela est vrai, mais cette charge n'est nullement mesurée par la flèche de la nappe c'est-à-dire par la différence de niveau entre l'eau sous la vallée et le point culminant de la surface hydrostatique. La pression est forte sous les vallées, parce que la perte de charge est faible dans un terrain à canaux plus libres.

L'existence de la vallée montre généralement qu'il y a au-dessous une active circulation d'eau souterraine ; celle-ci étant le plus souvent la cause et non la résultante de cette vallée (§§ 37 à 40) (1).

En tous cas, pour une même nappe, et toutes conditions égales d'ailleurs, plus le niveau hydrostatique est rencontré bas, plus il y a de

---

(1) Il est bien entendu qu'il ne s'agit ici que des vallées ou dépressions de terrains ayant nettement les caractères d'effondrements ou d'affaissements, à l'exclusion des vallées torrentielles ou d'érosion uniquement superficielles.

chances pour que le débit soit grand. Cette considération est surtout à envisager, quand on cherche à interpréter les résultats donnés par les niveaux d'eau, dans les puits d'une région, au moment d'une enquête préparatoire.

La détermination de l'emplacement d'un forage devant atteindre une nappe captive, ne dépend évidemment pas du relief du sol au point d'utilisation, en ce qui concerne le débit à espérer, cette considération topographique intervient seulement dans la question de jaillissement possible (§ 12) et pour le puisage.

Indépendamment de la question de débit, il peut être utile de chercher un emplacement tel que l'eau soit captée dans une roche cohérente, afin d'éviter les affouillements et entraînements des éléments trop facilement charriés et élevés avec l'eau. Cette observation a de l'importance dans les cas où la même nappe occupe souterrainement plusieurs formations distinctes. Par exemple, la nappe retenue par l'argile plastique (§ 29, *fig.* 13) circule successivement dans des formations sableuses ou dans des fissures de calcaires compacts. Quand on prend l'eau, soit dans les sables de Beauchamp, soit dans ceux du Soissonnais, on ne peut éviter les entraînements de sable et le débit est souvent faible. Dans les fissures du calcaire grossier, au contraire, on peut avoir en abondance de l'eau très limpide.

Dans les points où la nappe intéresse ces diverses formations, comme à Mortefontaine, un forage fait en un point quelconque donnerait un bon résultat, mais à la condition de passer et d'isoler par un tubage, les sables de Beauchamp pour s'arrêter dans le calcaire grossier.

**58. Puits.** — Le choix entre l'exécution d'un puits ou d'un forage, dépend naturellement des conditions du problème ; dans quelques cas, il peut être indifférent d'employer l'un ou l'autre ; mais le plus souvent, ce choix est imposé. La profondeur à atteindre et le niveau de l'eau sont les bases principales de la question, tant au point de vue des procédés d'exécution qu'à celui de l'utilisation de l'eau qui exige des moyens spéciaux de puisage.

Le débit est très important à considérer dans l'espèce ; s'il est faible, comme, par exemple, au sommet d'un plateau dans une roche peu perméable, le puits s'impose à cause de sa section plus grande qui permet de constituer, dans le fond, une certaine réserve. Si le débit est fort, par suite de la grande facilité de circulation de l'eau dans les conduits naturels du terrain, il est inutile de créer une réserve, un forage de diamètre relativement réduit est suffisant.

Quand un puits dépasse la surface hydrostatique, il commence à contenir un certain volume d'eau. Si la perméabilité n'est pas

très forte, le puits constitue lui-même un canal de grande circulation locale, la perméabilité augmente en ce point, la surface hydrostatique s'abaisse d'autant plus que le débit est plus faible (§§ 10 et 15). Quand on arrête le creusement, l'eau reste dans le puits à un niveau bien inférieur à celui de la surface de la nappe avant le travail, c'est-à-dire au-dessous du point de rencontre, cette surface s'infléchit autour du puits en formant dans le sol environnant une dépression grossièrement conique.

Pour exécuter le puits, les ouvriers sont obligés d'extraire l'eau rencontrée au fur et à mesure de son accumulation dans le fond. On arrête le travail, quand on ne peut plus enlever l'eau assez rapidement. Si les procédés d'épuisement sont capables d'extraire toute l'eau qui arrive, on peut descendre le puits à une grande profondeur au-dessous du niveau hydrostatique.

Pour une même puissance d'épuisement et en admettant que le travail a été poussé jusqu'à la limite, la profondeur atteinte au-dessous du niveau de la nappe est d'autant plus grande que le débit est plus faible.

Le creusement une fois terminé, si, comme cela est le cas ordinaire, les épuisements sont arrêtés ou tout au moins limités aux besoins normaux, beaucoup plus faibles, l'eau remonte dans le puits, sans atteindre le niveau primitif,

ainsi qu'on vient de le voir, mais d'autant plus haut au-dessus du fond que le débit de la nappe est plus faible, puisqu'on a pu l'épuiser sur une grande épaisseur.

D'où cette conclusion à première vue paradoxale que, dans une région où on observe des puits creusés par les mêmes procédés ordinaires peu puissants des puisatiers, plus un puits contient d'eau, plus il est mauvais au point de vue du débit.

Cette observation a été faite il y a plus de 30 ans par M. Derennes <sup>(1)</sup> qui a ainsi étudié, dans le Santerre et sur les hauts plateaux de la Seine-Inférieure, des puits creusés dans la craie, contenant quelquefois plus de 15 mètres d'eau au-dessus du fond.

Il n'est pas rare de voir, au contraire, des puits à très fort débit, dans lesquels la hauteur d'eau est inférieure à 1 mètre : parce que le puisatier n'a pas été maître des venues d'eau dès qu'il a pénétré dans la nappe.

La grande masse d'eau contenue dans les puits peu productifs, constitue une réserve pouvant être extraite rapidement. Mais on doit attendre ensuite longtemps pour que l'eau revienne à son niveau.

a) **Galerie de réserve.** — La constitution d'une

---

(1) E. DERRENNES. — *Rapports et notes manuscrites.*

réserve d'approvisionnement est donc utile toutes les fois qu'il s'agit de prendre en peu de temps, l'eau qui circule lentement dans une nappe. Le volume de la réserve est réglé par la différence de débit de l'engin d'épuisement et de la nappe et par le temps séparant deux périodes d'extraction. Les extractions étant le plus souvent faites au moyen de pompes dont la hauteur d'aspiration est naturellement limitée (1), il est nécessaire de constituer la réserve souterraine horizontalement plutôt qu'en hauteur. Le moyen le plus simple de créer une réserve en surface consiste évidemment à faire un puits de grand diamètre; mais on est rapidement arrêté dans cette voie, surtout quand l'eau est à une grande profondeur, il est alors préférable de percer une galerie. Si la roche est homogène et si on n'a pas de raisons de supposer que des parties plus perméables peuvent être rencontrées dans une direction donnée; l'orientation et la forme des *galeries de réserve* ont peu d'importance, ce qu'il faut, c'est un volume déterminé à un niveau peu éloigné de celui de la pompe.

*b) Galeries de captage.* — Quand la perméabilité est assez bonne, et principalement quand elle est due à des fissures ou fractures, on a sou-

---

(1) Sauf dans les cas de pompes plongeantes peu employées dans les puits ordinaires.

vent intérêt à recouper un grand nombre de celles-ci pour augmenter la production. On fait alors des *galeries de captage*. Le volume n'a plus ici d'intérêt direct ; ce qu'il faut, c'est la longueur. Une galerie de captage doit s'étendre le plus loin possible, avoir une section réduite et être dirigée de façon à recouper beaucoup de canaux naturels ; quand ceux-ci ont, comme cela arrive souvent, une direction commune, la galerie doit leur être perpendiculaire.

Une galerie de réserve dans un terrain peu perméable peut, en somme, être aussi regardée comme recoupant une infinité de canaux de très petite dimension ; elle produit le captage par suintement ; il y a donc intérêt à lui donner un certain développement en surface ; à la condition toutefois qu'elle soit complètement au-dessous du niveau hydrostatique de la nappe (§ 62).

**59. Forages.** — Les forages ne donnent aucune réserve. La nappe doit avoir un débit suffisant ; ils permettent de descendre très bas au-dessous du niveau de l'eau (§ 56). La hauteur absolue de l'eau dans un forage n'a pas, au point de vue du débit, la même signification que dans un puits, puisqu'il a pu être exécuté sans épuisements.

Le diamètre à donner à un forage dépend surtout des conditions d'exécution, de la pro-

fondeur qu'on veut atteindre (1) et de la dimension des engins d'épuisement qu'on doit loger à l'intérieur ; il dépend donc, pour cette dernière raison, du débit, puisque ces engins sont évidemment d'autant plus volumineux que la quantité d'eau à élever est plus grande. Mais, au point de vue de la production, le diamètre a relativement peu d'importance. Quand un forage pénètre dans une nappe productive, toute l'eau qui circule à la base peut s'écouler facilement dans ce canal artificiel, qui est généralement de section beaucoup plus grande que l'ensemble des conduits naturels du terrain, et qui offre, en tous cas, une résistance faible. Il faut que le débit soit, d'une part, très fort et que le forage soit, de son côté, très petit pour que la résistance devienne un obstacle sensible à l'écoulement.

Quand un forage doit aller chercher l'eau dans les fissures d'une roche compacte, on peut espérer que le nombre des canaux rencontrés sera d'autant plus grand que le diamètre sera lui-même plus grand. Quand le succès est basé sur cette considération, il est pour le moins douteux.

---

(1) Les difficultés rencontrées pendant la traversée de certains terrains, obligent souvent à arrêter la descente d'un tube et à continuer le forage en passant à l'intérieur un autre tube forcément plus petit. Plus on descend, plus on a de chances de *perdre du diamètre*.

Dans quelques cas, les forages sont descendus à de grandes profondeurs pour chercher ainsi l'eau dans un très petit nombre de fractures d'un terrain compact. Cette recherche est essentiellement incertaine et donne lieu aux plus grandes surprises.

Dans la région de Lille, par exemple, on cherche souvent l'eau dans les fractures du calcaire carbonifère. La nappe, retenue à sa partie supérieure par les couches imperméables de la base du crétacé, est essentiellement captive, son niveau hydrostatique est très voisin du sol peu accidenté de la région (altitude moyenne 20 mètres). Le niveau de rencontre (§ 16) est des plus variables : de 30 mètres à 200 mètres (1) ; deux forages voisins peuvent ainsi avoir des profondeurs très différentes. Des insuccès complets sont fréquents à quelques mètres seulement de résultats remarquables. A Roubaix, certains forages ne donnent rien, d'autres fournissent 10, 50, 100 et l'un d'eux même, plus de 600 mètres cubes à l'heure (2). Ces grandes

---

(1) Il s'agit ici de la profondeur de la fissure aquifère et non de la surface du calcaire carbonifère qui, elle aussi, est très irrégulière ; son altitude varie de + 10 mètres à — 150 mètres environ.

(2) J. GOSSELET. — *Alimentation des villes du Nord de la France*. Annales de la Société géologique du Nord, XXVII, 1898, p. 291.

différences observées entre des forages très voisins, prouvent que les fissures du terrain primaire sont, dans cette région, très peu inclinées sur la verticale. Cela rend la recherche en profondeur d'autant plus aléatoire.

**60. Puits ou forages près des cours d'eau.** — Un puits ou un forage creusé dans un terrain aquifère, à proximité du point d'émergence de la nappe, diffère bien peu d'une source et constitue souvent le moyen de captage de celle-ci. Une galerie partant horizontalement pour aller chercher l'eau de la nappe, en amont de la source, ne diffère du puits que par la direction.

L'origine de l'eau des puits creusés dans les vallées, à proximité des cours d'eau, paraît, dans certains cas, incertaine et est souvent mal comprise.

Quand la vallée est creusée dans un terrain imperméable, et si la rivière, à régime forcément torrentiel, coule sur un lit de matériaux détritiques, un puits creusé dans ces alluvions, à proximité du cours d'eau, est alimenté par celui-ci, ou plus exactement par la nappe libre circulant dans l'épaisseur des couches perméables qui recouvrent ainsi le thalweg imperméable, le cours d'eau lui-même étant un épanchement de cette nappe peu puissante.

Tout autre est le cas des vallées en terrain

perméable. Un puits creusé dans les alluvions ou sur les bords d'un cours d'eau de nappe, est alimenté exclusivement par l'eau de celle-ci, dont l'écoulement est franchement dirigé de l'intérieur vers le thalweg.

Le niveau dans le puits est influencé par celui du cours d'eau, mais indirectement, par modification du point d'émergence de la nappe.

Quand un cours d'eau est alimenté uniquement par la nappe dans laquelle est creusé le puits, les deux eaux ont la même composition chimique; mais le plus souvent, la rivière reçoit un fort appoint d'eau d'amont, dont la qualité peut être très différente de celle de la nappe; on observe alors à l'analyse que les deux eaux ne se ressemblent pas.

A Paris, par exemple, l'eau de la Seine contient seulement 0<sup>gr</sup>,040 de sulfate de chaux par litre; l'eau de la nappe libre d'infiltration qui a circulé dans les formations gypseuses en contient, en moyenne, 1<sup>gr</sup>,500. Les puits creusés contre la berge et même dans l'île St-Louis, donnent uniquement l'eau séléniteuse de la nappe.

**61. Niveaux d'eau dans les puits ou forages. Dénivellation.** — La hauteur à laquelle l'eau reste stationnaire dans un puits ou forage est nommé *niveau statique* ou *niveau mort*. Ce niveau n'est pas invariable, il subit toutes les fluctuations de la nappe et, en particulier, celles

des saisons (§ 20). Si le régime de la nappe est très constant, les puits sont peu variables comme niveau et comme débit, mais, dans certains points hauts, quand la surface hydrostatique subit de très forts déplacements, le niveau statique de l'eau dans les puits varie dans de grandes proportions ; il arrive ainsi quelquefois que l'abaissement dépasse le fond des puits qui s'assèchent complètement.

Quel que soit le niveau statique dans un puits ou forage, tout épuisement détermine un abaissement de l'eau qui ne s'arrête que quand la pression extérieure est suffisante pour que la production soit égale à l'extraction ; l'eau se tient alors à un *niveau de régime*, pour le débit considéré.

La différence entre ces deux niveaux, c'est-à-dire la *dénivellation* est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus forte que l'épuisement est plus grand, et que le débit de la nappe est plus faible.

La valeur exacte de cette dénivellation ne peut être calculée ; les formules sont modifiées par les différences de perméabilité des couches intéressées. En outre, l'épuisement lui-même asséchant le terrain autour du puits, la charge effective diminue et la perte de charge augmente, le chemin parcouru étant plus grand.

La dénivellation est indépendante de la section du puits ou forage.

La dénivellation en cours d'épuisement qu'il faut bien se garder de confondre avec les fluctuations dues aux saisons, est cependant aussi influencée par celles-ci ; elle augmente, pour un épuisement donné, quand la nappe s'abaisse.

Toutes conditions égales d'ailleurs, les fluctuations du niveau statique et la dénivellation sont plus faibles dans les puits ou forages des vallées que dans ceux des points hauts.

La *valeur* d'un puits ou forage est donc donnée par le *niveau statique* en *différentes saisons* et par la *dénivellation* sous l'influence d'un *débit* déterminé.

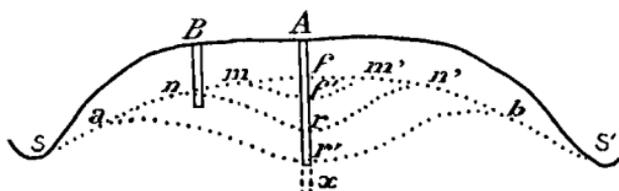
**62. Abaissement progressif du niveau statique.** — Les puits, et surtout les forages, permettent de prendre l'eau, dans quelques cas, au-dessous du niveau des affleurements naturels et augmentent ainsi, dans une certaine mesure, la réserve utilisable, au même titre que les captages par abaissement des sources (§ 55). Si la nappe est très productive, au point considéré, par rapport à l'épuisement, il ne se produira pas de changements sensibles ; mais si, comme cela arrive sous les hauts plateaux en terrain peu perméable, la nappe a un faible débit, il se produit un abaissement progressif de la surface hydrostatique et, par suite, des niveaux statique et de régime.

M. Derennes a particulièrement étudié et ex-

pliqué cet abaissement dans les puits des points hauts de Picardie (1).

Soit une nappe libre  $safbs'$  (fig. 16), circulant très lentement dans les fissures de la craie compacte ; on fait un puits en A ; l'eau rencontrée en  $f$  s'abaisse et se maintient à son niveau statique en  $f'$  (§ 61). On épuise pendant un cer-

Fig. 16



tain temps, le niveau de régime descend en  $r$ , la surface hydrostatique s'infléchit et présente une dépression grossièrement conique  $nrn'$ , avec assèchement des fissures dans le voisinage immédiat du puits. Le point  $r$  constituant momentanément un affleurement de la nappe, il se produit un éloignement progressif du sommet de la surface hydrostatique, par rapport au puits. Cette surface étant déterminée par la position des points  $s$ ,  $s'$  et  $r$  (§ 15) devient  $snrn's'$ . Les épuisements continuant avec la même puissance, la charge au-dessus du point  $r$  diminue puisque, toutes choses égales d'ailleurs, elle est proportionnelle à la différence de niveau entre

(1) E. DERENNES. — *Notes manuscrites.*

$r$  et  $n$  ou  $n'$ , l'eau doit, en outre, parcourir un chemin oblique plus long qu'à l'origine, dans des conduits très faibles et dont la résistance est proportionnelle à la longueur; le niveau de régime s'abaisse en  $r'$  au fond du puits, la surface hydrostatique passe par les points  $sa'r'bs'$ . Dès qu'on continue les épuisements le puits est asséché; on le creuse pour suivre le niveau de l'eau et l'abaissement continue ainsi à se produire progressivement. Dans les terrains très peu perméables, cet abaissement progressif et les approfondissements qui en résultent peuvent descendre au-dessous des affleurements, jusqu'en  $\infty$  par exemple.

Si les épuisements, au lieu d'être supposés continus, sont intermittents, le niveau statique primitif n'est jamais atteint, quelle que soit la durée des arrêts, il s'abaisse progressivement dans la même proportion que le niveau de régime.

Un puits asséché et approfondi peut produire l'épuisement des puits voisins si ceux-ci sont dans la zone de terrain abandonnée par la nappe. C'est le cas du puits B qui avait l'eau en  $n$  et dont le fond se trouve après l'assèchement, au-dessus de la ligne  $ar'$  sans qu'on ait pratiqué d'épuisements directs en ce point.

Des puits approfondis au-dessous du niveau des points naturels d'affleurement peuvent pro-

duire un épuisement complet de la réserve utilisable et même de la totalité de la nappe. Ils sont ensuite réduits à la seule alimentation progressive et sont alors directement soumis aux fluctuations de cette alimentation, avec un retard plus ou moins grand sur celles-ci, suivant les circonstances locales (§§ 17, 19 et 20) (1).

---

(1) Si les puits sont alimentés par une nappe sans issues, il est évident que l'épuisement total et définitif n'est qu'une question de temps (§ 13).

---

## CHAPITRE IX



### EAUX POTABLES CONSIDÉRATIONS SPÉCIALES

**63. Conditions particulières.** — Les questions relatives à la recherche des eaux potables ne peuvent faire l'objet d'une étude exclusive ; elles rentrent pour les grandes lignes dans le problème général, tel qu'il a été exposé dans les chapitres précédents et, en particulier, dans celui de la qualité. Cependant, étant donnée l'importance du sujet, il est indispensable de préciser quelques points spéciaux.

Les deux facteurs principaux de la recherche : la quantité et la qualité, existent dans tous les cas ; le premier rentre dans la généralité, mais le second prend une importance capitale, les conditions à remplir sont complexes et souvent en opposition avec la quantité.

Sauf les cas relativement rares d'eaux superficielles, lacs, cours d'eau, etc., de pureté organique exceptionnelle, on doit compter le plus souvent sur la pénétration et la circulation

souterraine pour produire une épuration chimique et physique des eaux contaminées par le contact superficiel du sol. Or, pour que cette purification ait le temps de se produire, il faut que les contacts aient une certaine durée; la vitesse du passage de l'eau doit être lente et, d'autre part, le chemin parcouru très grand.

Le débit et la qualité des eaux souterraines paraissent donc jusqu'à un certain point incompatibles. Cependant, cela est une question de puissance de nappe et surtout d'étendue du bassin d'alimentation.

Dans tous les cas, on voit combien est importante la qualité originelle de l'eau au moment de sa pénétration dans un sol qui doit être lui-même dans des conditions telles qu'il puisse sûrement améliorer et non altérer cette qualité première.

La question des eaux potables est d'autant plus complexe que, sauf pour les grandes lignes, les hygiénistes ne sont pas toujours d'accord sur les conditions à exiger.

A part les propriétés physiques de limpidité, de fraîcheur et de saveur, qui sont essentielles parce que ce sont celles qui ont toujours frappé le consommateur, on s'attachait autrefois à obtenir des eaux douces, c'est-à-dire contenant le minimum de sels minéraux en dissolution. C'était le triomphe des eaux pluviales recueillies

sur des toits sales, conservées et filtrées dans des citernes rarement ou jamais nettoyées.

Les eaux souterraines provenant des puits et utilisées de toute antiquité par de nombreuses populations étaient souvent rejetées à cause de leur composition minérale.

Quant aux eaux de sources, grâce à leur origine naturelle, considérée comme un peu mystérieuse, on les acceptait sans contrôle; encore aujourd'hui, ce sentiment existe fréquemment.

Au début des découvertes bactériologiques et à la suite de remarquables travaux sur la transmission par l'eau des maladies microbiennes épidémiques, telles que le choléra, la fièvre typhoïde, etc., on a renoncé d'un coup aux anciennes idées sur la minéralisation des eaux pour ne s'attacher qu'à la numération d'abord et, plus logiquement ensuite, à la spécification des bactéries.

On revient un peu plus maintenant à l'étude chimique de l'eau, mais en étendant les anciennes limites admises pour la proportion des différents sels dissous.

La valeur de la composition minérale et les conclusions à tirer de l'analyse sont relatives, dans les limites ordinaires. Il s'agit là; des propriétés pour ainsi dire industrielles de l'eau potable. Une *dureté* un peu forte est une gêne

pour la cuisson des aliments, mais il est difficile d'admettre qu'une eau contenant par exemple 0,400 de carbonate de calcium, incapable de cuire les haricots, soit nuisible dans l'organisme, alors qu'on y introduit avec les aliments solides bien d'autres sels calcaires en plus forte proportion.

Dans tous les cas, la composition minérale a une valeur considérable au point de vue comparatif; c'est elle qui, souvent, donne la clef d'une origine incertaine.

Enfin, l'origine étant connue, la présence de tel ou tel sel, dissous en proportion déterminée, donne de précieuses indications indépendamment de la valeur propre de cet élément minéral. Le chlorure de sodium en est un remarquable exemple. Un verre d'eau suffisamment salée pour être désagréable au goût, contient bien moins de sel que la plupart des aliments.

Une eau voisine de la mer peut contenir du chlorure de sodium, jusqu'à plusieurs décigrammes par litre, sans inconvénient. Mais si, dans une eau continentale et surtout dans le voisinage des centres habités et sans raison géologique spéciale, on trouve plus de 5 et même 3 centigrammes de ce sel, il y a tout lieu de penser que l'eau reçoit des produits résiduels de la vie animale.

Il en est de même pour les *matières* dites *organiques*, c'est-à-dire celles qui sont capables d'absorber une certaine quantité d'oxygène emprunté au permanganate de potasse employé pour leur dosage. Pour apprécier strictement ainsi la qualité d'une eau, il faudrait connaître la nature exacte des corps réducteurs qui agissent d'une façon très différente sur le permanganate suivant leur composition chimique et lui empruntent, par suite, un nombre variable d'équivalents d'oxygène. Il n'y a là qu'une indication, des plus précieuses, il est vrai.

D'une façon générale, une bonne eau potable doit contenir le minimum de corps réducteurs organiques, très peu ou pas de nitrates et surtout de nitrites ; ces corps n'étant pas par eux-mêmes nuisibles dans des proportions bien supérieures à celles qui sont atteintes dans les eaux les plus mauvaises (1).

La composition minérale ou organique d'une

---

(1) Un excellent bouillon de viande, salé à point, donnerait à l'analyse, comme eau potable, le plus déplorable résultat.

Nous n'avons pas à étudier, ni même à énumérer ici les divers corps minéraux ou organiques qu'on peut rencontrer et qu'on doit doser dans les eaux potables, pas plus que nous n'avons à indiquer les procédés d'analyse.

On verra à ce sujet, parmi les nombreux ouvrages spéciaux, la collection des *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*.

eau potable ne peut être donnée qu'à titre d'élément indispensable de l'étude générale.

L'analyse bactériologique présente aussi de grandes incertitudes dans la plupart des cas. La numération simple ne donne rien d'absolu, les espèces banales pouvant accidentellement se trouver dans des conditions favorables à leur développement. Cependant, une grande richesse bactérienne est toujours, à juste titre, regardée comme un mauvais indice.

La recherche des espèces pathogènes présente évidemment un intérêt capital et d'une valeur incontestable pour faire rejeter une eau quand celles-ci sont mises en évidence. Malheureusement, en cas de résultat négatif, il est moins certain que l'eau est bonne ; les espèces cherchées peuvent avoir échappé, et surtout la grande variabilité de richesse microbienne d'une même eau oblige à répéter fréquemment l'analyse numérique et surtout la recherche spécifique.

**64. Considérations hydrologiques.** — Ce qu'il faut avant tout demander à une eau, c'est qu'elle soit, par ses origines, par son mode de circulation et par la situation du point de captage, à l'abri de toute chance de contamination physique, chimique ou bactériologique.

L'étude hydrologique est donc capitale dans toute recherche ou étude d'eau potable.

La mauvaise qualité bactériologique de beau-

coup d'eaux de puits peu profonds, situés naturellement près des lieux habités, a fait dire souvent que ces eaux sont moins bonnes en principe que celles des sources.

Pour les sources aussi, après avoir constaté des résultats remarquables, on en a trouvé qui, pour des raisons de mauvaise protection ou d'alimentation défectueuse, donnent des eaux très riches en bactéries. On en est arrivé à soupçonner indistinctement toutes les eaux souterraines et spécialement celles des terrains calcaires.

A la suite des travaux de M. Martel et des explorations souterraines qui ont mis en évidence des cas remarquables de circulation rapide des eaux, dans de grandes cavités et fractures naturelles, avec réapparition au jour après un parcours plus ou moins direct, on est tenté à tort de ne plus voir dans le sol que cette circulation active qui, si fréquente qu'elle soit, n'en est pas moins exceptionnelle et sert de lien entre les eaux souterraines et les eaux superficielles (§§ 14 et 34).

Dans la grande majorité des cas, les fissures ou fractures des roches calcaires sont assez peu ouvertes, et il ne faut pas perdre de vue que la durée du passage de l'eau, c'est-à-dire la longueur du chemin parcouru, joue un rôle prépondérant dans la purification par le sol.

Il ne faut donc pas rejeter, en principe, l'eau

de tel ou tel terrain. Tout dépend du régime de la nappe considérée.

En cas de doute sur la rapidité de circulation, on doit employer le procédé de coloration à la fluorescéine, si habilement mis en œuvre par MM. Martel et Ferray (§ 41, note); mais on ne doit pas oublier que, dans la plupart des masses calcaires, la circulation des eaux est extrêmement lente et qu'il ne faut pas confondre le temps nécessaire pour qu'une chute d'eau se fasse sentir sur le régime d'une source ou d'un puits, avec le temps que mettra une molécule donnée pour aller du point de chute au point d'émergence (§ 17).

D'une façon générale, on doit considérer la circulation souterraine comme la meilleure garantie de pureté. Toutes les fois qu'on peut s'alimenter à une nappe puissante à régime constant, cela est en tous points préférable à une prise d'eau superficielle.

Il ne faudrait pas toutefois compter d'une façon absolue sur la purification par circulation dans le sol si celle-ci n'a pas une très grande durée. Il suffit d'une faible pénétration pour que les bactéries soient détruites par manque d'oxygène (§ 44), mais si l'eau n'a pas eu le temps de s'oxyder complètement dans les premières couches traversées, elle peut arriver dans la profondeur avec une teneur élevée en matières

organiques, mortes, mais éminemment réductrices. Une telle eau, revenant à l'air sans grandes modifications, est évidemment dépourvue de bactéries au moment de la réapparition, mais elle est très apte au réensemencement, dès que les conditions vitales sont réalisées.

**65. Captage.** — Quoique le captage des eaux soit indépendant de la recherche proprement dite, il y a souvent entre les deux un rapport tel qu'il est impossible de ne pas faire à ce sujet quelques observations spéciales.

*a) Eaux superfletelles.* — Le captage ou plutôt le puisage des eaux superficielles est pour ainsi dire élémentaire, soit qu'on prenne directement dans un cours d'eau, soit qu'on établisse des bassins de réserve, derrière des barrages. Il suffit seulement de rappeler que, dans le cas de prise en rivière, il faut éviter de faire un puits sur la rive, avec l'intention d'obtenir par infiltration l'eau de cette rivière. On a bien des chances pour avoir ainsi uniquement l'eau de la nappe souterraine (§ 60).

*b) Eaux souterraines.* — L'eau souterraine peut être obtenue naturellement à une source ou au moyen d'un puits ou forage. On doit, toutes les fois que le choix est possible, étudier les conditions locales spéciales et adopter le mode de captage le plus apte à conserver à l'eau toutes ses qualités.

L'emplacement précis du point de captage est choisi, s'il s'agit d'une source, ou déterminée, s'il s'agit d'un puits à creuser, après une étude attentive de la direction des écoulements souterrains et superficiels des eaux à protéger et de celles à éviter.

Cela a, en particulier, un grand intérêt, pour les petites alimentations à faible profondeur, dans le voisinage des habitations rurales par exemple.

Quand on doit capter une source ou exécuter un puits à flanc de colline, il faut éviter de se placer directement en aval des habitations et de toutes les causes possibles d'infections de la nappe utilisée. Cette précaution élémentaire est trop souvent négligée ; son inobservation détermine fréquemment des épidémies locales.

*Sources.* — Quand les eaux forment à l'affleurement de la nappe, un bassin naturel, elles s'oxydent et acquièrent une stabilité de composition qui les rend immédiatement propres à la consommation. Malheureusement, le bassin est directement exposé aux altérations atmosphériques ; l'eau, pour y arriver, doit repasser par les couches superficielles du sol et peut s'y charger de matières organiques et de bactéries.

Une source est, en outre, toujours dans un point relativement bas éminemment exposé aux écoulements superficiels, ce point est souvent

ainsi le collecteur naturel des eaux de lavage des terrains supérieurs. Les analyses bactériologiques indiquent toujours, en effet, une augmentation de germes du sol dans les points bas, après les pluies.

Même quand le captage est fait par galerie (§ 55), l'eau de la source ne peut échapper complètement aux infiltrations superficielles ; l'affleurement se trouvant naturellement dans un point de plus grande perméabilité, la nappe est en communication facile avec la surface du sol.

Ces considérations font souvent préférer les puits ou forages pour atteindre les nappes.

*Forages.* — Les forages permettent d'aller chercher l'eau de la nappe à une distance très grande de la surface, même dans les points bas, quand le support imperméable est bien au-dessous du point d'émergence. On peut ainsi faire dans le lit d'une source d'émergence un forage de quelque profondeur, au simple point de vue de la protection. Le forage constitue alors une galerie de captage verticale qu'on peut facilement rendre étanche sur une grande hauteur.

Les eaux captées profondément dans les forages arrivent au sol avec les propriétés reductrices ordinaires aux eaux profondes les plus pures, elles ont donc, dans beaucoup de cas, une très légère odeur sulfureuse et contiennent des

sels de fer qui s'oxydent rapidement à l'air en donnant ces dépôts ocreux si désagréables dont il a été question précédemment (§ 44). Aux sels de fer naturels, il faut aussi ajouter ceux qui proviennent de l'attaque très rapide des tubages en fer par les eaux chargées d'acide carbonique libre.

L'exécution d'un forage s'impose, toutes les fois qu'il y a lieu d'isoler une ou plusieurs nappes supérieures. Dans ce cas, un seul tube, est insuffisant pour assurer l'étanchéité et il est d'ailleurs à craindre qu'il soit attaqué et détruit. On emploie alors un double tubage cimenté (§ 56). Mais le travail doit être fait avec le plus grand soin et avec une parfaite connaissance de la superposition et de la nature des couches traversées, afin d'arrêter la base de l'anneau de ciment en un point convenable. Si ce tubage est, en effet, mal conçu ou mal exécuté, il donne une sécurité illusoire.

Des analyses chimiques et bactériologiques périodiques sont, dans ce cas, nécessaires pour donner des indications sur la valeur permanente de l'étanchéité.

*Puits.* — Les puits, quand ils sont exécutables, n'ont pas les inconvénients dus aux tubages en tôle; mais, dans les premiers temps après la construction, la chaux du revêtement en maçonnerie, se dissout dans l'eau qui est ainsi

rendue impotable et même dangereuse ; elle doit être épuisée activement jusqu'à complète disparition de toute trace d'alcali.

Il est bien rare que le premier échantillon d'eau de puits envoyé à l'analyse, ne soit pas ainsi très riche en chaux libre. Si le chimiste n'est pas prévenu, il peut déduire de son analyse des conclusions tout à fait fausses.

Le diamètre toujours assez fort des puits, les expose d'une façon particulière aux chutes des corps étrangers capables de contaminer l'eau.

Quand la profondeur est faible, il y a ensemencement superficiel des parois humides et tapissées de mousses, de moisissures et d'algues. Dans les vieux puits, on trouve toujours un nombre considérable de bactéries, dans l'eau, dans le sol du fond et sur les parois.

Les engins de puisage, vieilles pompes, mal entretenues et surtout les seaux et les cordes sont les principaux agents d'ensemencement microbien de l'eau. Il est quelquefois nécessaire de combler les vieux puits et d'en refaire de nouveaux à quelques mètres de distance.

Quand on veut examiner, au point de vue bactériologique, l'eau d'une nappe, il faut éviter de prélever l'échantillon dans un mauvais puits pouvant contaminer l'eau la plus pure.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- H. LECOQ. — *Éléments de géologie et d'hydrographie*  
t. 1<sup>er</sup>. Paris, J.-B. Baillière, 1838.
- PAHAMÉLIE (l'abbé). — *L'art de découvrir les sources*.  
1<sup>re</sup> édition. Dalmont et Dunod, 1856, et 4<sup>e</sup> édition.  
Paris, Baudry, 1896.
- DEGOUSSÉE et CH. LAURENT. — *Guide du sondeur*.  
1<sup>re</sup> édition, Paris. Langlois et Leclerc, 1847, et  
2<sup>e</sup> édition. Garnier frères, 1861.
- BELGRAND. — *La Seine, études hydrologiques*. Paris,  
Dunod, 1872.
- DAUBRÉE. — *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*.  
Paris, v<sup>o</sup>e Ch. Dunod, 1887.
- MARTEL. — *Les abîmes, les eaux souterraines, les  
cavernes, les sources, la spéléologie*. Paris, Dela-  
grave, 1894.
- A. DEBAUVE. — *Distributions d'eau*. Paris, Vicq-Dunod  
et C<sup>ie</sup>, 1897.
- G. BECHMANN. — *Distributions d'eau et assainisse-  
ment*. Paris, Baudry et C<sup>ie</sup>, 1898.
- J. GOSSELET. — *Alimentation en eau des villes du  
Nord de la France*. Annales de la Société géologique  
du Nord, t. XXVII, 1898.
-

# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION . . . . .	5

## PARTIE THÉORIQUE

### CHAPITRE PREMIER

<i>Perméabilité</i> . . . . .	15
Définition. . . . .	15
Divers types de roches. . . . .	21
Argiles . . . . .	22
Sables et graviers. . . . .	22
Tourbe. . . . .	24
Roches compactes. . . . .	25
Cas spéciaux de grande perméabilité. . . . .	29
Abîmes, puits naturels, grottes, etc. . . . .	29
Modifications temporaires et accidentelles de la perméabilité. . . . .	33
Augmentation de la perméabilité . . . . .	34
Diminution de la perméabilité . . . . .	34

### CHAPITRE II

<i>Eaux souterraines</i> . . . . .	36
Nappes . . . . .	36
Nappes souterraines, niveau hydrostatique. . . . .	36
Nappes libres . . . . .	39

	Pages
Nappes subordonnées . . . . .	43
"  captives . . . . .	44
"  sans issues . . . . .	47
Cours d'eau souterrains . . . . .	48
Forme et position de la surface hydrostatique	50
Différence entre le niveau hydrostatique et le	
niveau de rencontre . . . . .	55
Régime des eaux souterraines . . . . .	56
Alimentation des nappes . . . . .	56
Circulation . . . . .	63
Puissance et réserve d'une nappe . . . . .	67
Influence des saisons . . . . .	70
Régime au voisinage de la mer . . . . .	72
Sources . . . . .	75
Définition. . . . .	75
Sources de déversement . . . . .	75
"  d'émergence. . . . .	78
"  jaillissantes . . . . .	83
"  déviées . . . . .	83
Débit des sources. . . . .	90
Sources intermittentes . . . . .	94
Désignation des nappes. . . . .	96
Hydrologie et stratigraphie . . . . .	96

## CHAPITRE III

<i>Eaux superficielles</i> . . . . .	103
Ruissellement . . . . .	103
Torrents . . . . .	104
Cours d'eau de nappe . . . . .	107
Régime mixte . . . . .	109
Pertes et réapparitions des cours d'eau. . . . .	110

## CHAPITRE IV

<i>Rapports entre la circulation des eaux et le relief du sol.</i> . . . . .	113
Influence réciproque de la circulation des eaux et de la topographie . . . . .	113
Influence de la circulation superficielle . . . . .	114
"                    "          souterraine . . . . .	115
Fractures et plissements géologiques intéressant la circulation des eaux . . . . .	119
Modifications de la perméabilité résultant des mouvements du sol . . . . .	123
Conclusions à tirer du relief du sol . . . . .	124
Bassins d'alimentation . . . . .	126

## CHAPITRE V

<i>Qualité des eaux.</i> . . . . .	129
Eaux météoriques. . . . .	129
" superficielles . . . . .	131
" souterraines. . . . .	134
Mélange des eaux. . . . .	139
Température . . . . .	141
Limpidité, clarification naturelle . . . . .	142

## PARTIE PRATIQUE

## CHAPITRE VI

<i>Généralités</i> . . . . .	147
But à atteindre. . . . .	147
Champ de recherches . . . . .	148
Études géologiques et hydrologiques. . . . .	149

## CHAPITRE VII

<i>Recherche des eaux superficielles.</i> . . . .	154
Conditions d'utilisation. . . . .	154
Étude du bassin d'alimentation . . . . .	156
Pertes et réapparitions. . . . .	156

## CHAPITRE VIII

<i>Recherche des eaux souterraines</i> . . . . .	153
Étude hydrologique . . . . .	158
Sources . . . . .	159
Recherche et utilisation . . . . .	159
Puits et forages . . . . .	163
Définition. . . . .	163
Recherche de l'emplacement. . . . .	166
Puits . . . . .	169
Forages . . . . .	173
Puits ou forages près des cours d'eau . . . .	176
Niveaux d'eau. Dénivellation. . . . .	177
Abaissement progressif du niveau statique. .	179

## CHAPITRE IX

<i>Eaux potables. Considérations spéciales</i> . .	183
Conditions particulières . . . . .	183
Considérations hydrologiques . . . . .	188
Captage . . . . .	191
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	196

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS  
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

## TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

**ALHEILIG,**  
Ingénieur de la Marine.

**Camille ROCHE,**  
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

**TOME I :** Thermodynamique. Puissance des machines, diagrammes et formules. Indicateurs. Organes. Régulation. Épures. Distribution et changement de marche. Alimentation etc.; XI-604 pages, avec 412 figures; 1895..... 20 fr.

**TOME II :** Volants régulateurs. Classification des machines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints. Montage et essais. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction; IV-560 pages, avec 281 figures; 1895. 18 fr.

## CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

**E. DEHARME,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> pal aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

## VERRE ET VERRERIE

PAR

**Léon APPERT et Jules HENRIVAUX, Ingénieurs.**

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

## INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par **Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.**

Un volume grand in-8, de viii-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **C. BRICKA**,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII 634 pages avec 326 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... 20 fr.

## COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

## CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MÉNUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferments des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894..... 20 fr.

## ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **Al. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

**BLANCHIMENT ET APPRÊTS  
TEINTURE ET IMPRESSION**

PAR

**Ch.-Er. GUIGNET,**

Directeur des teintures aux Manufac-  
tures nationales  
des Gobelins et de Beauvais.

**F. DOMMER,**

Professeur à l'École de Physique  
et de Chimie industrielles  
de la Ville de Paris.

**E. GRANDMOUGIN,**

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-  
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

**CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE**

Par **A. CRONEAU,**

Ingénieur de la Marine,  
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de na-  
vires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages  
avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4 doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouver-  
tures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la  
coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. —  
Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

**PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES  
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.**

**FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX**

Par **Ernest HENRY,**

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le con-  
trôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique  
(économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

**TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES**

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 733 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par **J. HIRSCH**,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,  
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

DEUXIÈME ÉDITION.

Un vol. gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.).... 18 fr.

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 111 FIGURES ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 fr.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,  
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones. Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides. Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires. Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR.

PAR

**P. PETIT**,

Professeur à la Faculté des Sciences  
de Nancy,  
Directeur de l'École de Brasserie.

**J. JAQUET**,

Ingénieur civil,

Un volume de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898..... 7 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,  
Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).  
TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II (1<sup>re</sup> partie; 1893); 10 fr. 2<sup>e</sup> partie; 1898; 10 fr.

## COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ingr et Prof<sup>r</sup> à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.  
GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.).... 12 FR.

## LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

## TRAITÉ DES FOURS A GAZ A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par **Friedrich TOLD**,

Ingénieur, Professeur à l'Académie impériale des Mines de Leoben.

TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2<sup>e</sup> ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par **F. DOMMER**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.). 11 fr.

---

## PREMIERS PRINCIPES D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

FILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par **Paul JANET**,

Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris,

Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Troisième édition entièrement refondue. — In-8, avec 169 figures; 1899. 6 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

UNE EXCURSION ÉLECTROTECHNIQUE  
EN SUISSE,  
PAR LES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ,

AVEC UNE PRÉFACE DE P. JANET,  
Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Un volume grand in-8, avec 48 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

DEUXIÈME EXCURSION ÉLECTROTECHNIQUE EN SUISSE,  
PAR LES ÉLÈVES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Un volume grand in-8, avec 19 figures; 1899..... 1 fr. 50 c.

COURS DE PHYSIQUE  
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et  
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE  
COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec  
150 figures et 1 planche..... 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la cha-  
leur*; avec 47 figures..... 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures ..... 4 fr.
- (\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche ..... 7 fr.
- 2<sup>e</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.
- 4<sup>e</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique.* In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

- 1<sup>er</sup> SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.
- 2<sup>e</sup> SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules; Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.

# COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES

(conforme aux derniers programmes),

PAR

**James CHAPPUIS,**  
Agrégré Docteur ès Sciences,  
Professeur de Physique générale  
à l'École Centrale  
des Arts et Manufactures.

**Alphonse BERGET,**  
Docteur ès Sciences,  
Attaché au Laboratoire des recherches  
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (25<sup>cm</sup> × 16<sup>cm</sup>) DE IV-697 PAGES,  
AVEC 465 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

# D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES,  
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. C. N.).

Par **Ch. FABRY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

# MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT**,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,  
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure  
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

# MANUEL DE L'EXPLORATEUR

PROCÉDÉS DE LEVERS RAPIDES ET DE DÉTAILS  
DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE DES POSITIONS GÉOGRAPHIQUES,

PAR

**E. BLIM**,

Ingénieur-chef du service des Ponts  
et Chaussées de Cochinchine.

**M. ROLLET DE L'ISLE**,

Ingénieur hydrographe  
de la Marine.

UN VOLUME IN-18 JÉSUS, AVEC 90 FIGURES MODÈLES D'OBSERVATIONS  
OU DE CARNETS DE LEVERS; CARTONNAGE SOUPLE; 1899.. 5 FR.

# TRAITÉ DE NOMOGRAPHIE.

THÉORIE DES ABAQUES. APPLICATIONS PRATIQUES.

Par **Maurice d'OCAGNE**,

Ingénieur des Ponts et Chaussées,  
Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,  
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 177 FIGURES ET 1 PLANCHE; 1899.  
Broché..... 14 fr. | Relié (cuir souple)..... 17 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ

DE LA

# FABRICATION DES LIQUEURS

ET DE LA

DISTILLATION DES ALCOOLS,

Par P. DUPLAIS Aîné,

SEPTIÈME ÉDITION, ENTièrement REPOUDUE

PAR

Marcel ARPIN,  
Chimiste industriel.

Ernest PORTIER,  
Répétiteur de Technologie agricole  
à l'Institut agronomique.

DEUX VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT; 1900.

TOME I : *Les Alcools*. Volume de VIII-613 pages avec 68 figures ..... 8 fr.

TOME II : *Les Liqueurs*. Volume de 606 pages avec 69 figures..... 10 fr.

## LA TÉLÉGRAPHIE SANS FILS,

Par André BROCA,

Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine.

Un volume in-18 jésus, avec 35 figures; 1899..... 3 fr. 50 c.

## LA BICYCLETTE

SA CONSTRUCTION ET SA FORME,

Par C. BOURLET,

Docteur ès Sciences;

Membre du Comité technique du Touring-Club de France.

Un volume grand in-8, avec 263 figures; 1899..... 4 fr. 50 c.

HISTOIRE ABRÉGÉE

## DE L'ASTRONOMIE

Par Ernest LEBON,

Professeur au Lycée Charlemagne.

Un volume petit in-8, caractères élzéviens, avec 16 portraits  
et une Carte céleste; titre en 2 couleurs; 1899. 8 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS.]

# LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE  
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,  
Directeur de cet Institut.

6<sup>e</sup> ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques; avec 388 figures; 1899.*..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle; avec 387 figures; 1900.*..... 12 fr.

# LEÇONS DE CHIMIE,

(à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales)

Par **Henri GAUTIER** et **Georges CHARPY**,  
Docteurs ès Sciences,  
Anciens Élèves de l'École Polytechnique.

TROISIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUNDUE

UN VOLUME GRAND IN-8 DE VI-500 PAGES, AVEC 95 FIGURES; 1900.  
Broché..... 9 fr. | Relié (cuir souple).... 12 fr.

# LA LIQUÉFACTION DES GAZ.

MÉTHODES NOUVELLES. — APPLICATIONS,

Par **J. CAURO**,

Ancien Élève de l'École Polytechnique.  
Agrégé des Sciences physiques, Docteur ès Sciences.

Un volume grand in-8, avec 40 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

PREMIERS PRINCIPES

DE

# GÉOMÉTRIE MODERNE

A l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales  
et des Candidats à la Licence et à l'Agrégation,

Par **Ernest DUPORCQ**,

Ancien Élève de l'École Polytechnique,  
Ingénieur des Télégraphes.

Un volume in-8, avec figures; 1899..... 3 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# LEÇONS D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

*à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales,*

**Par E. WALLON,**

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,  
Professeur au Lycée Janson de Sailly.

Un volume grand in-8, avec 169 figures; 1900 ..... 9 fr.

---

## LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

EXPOSÉ DES ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES ENSEMBLES  
AVEC DES APPLICATIONS A LA THÉORIE DES FONCTIONS,

**Par Émile BOREL,**

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1898 ..... 3 fr. 50 c.

---

## LEÇONS SUR LES FONCTIONS ENTIÈRES,

**Par Émile BOREL,**

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1900 ..... 3 fr. 50 c.

---

## ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES NOMBRES

*Congruences. Formes quadratiques. Nombres incommensurables.  
Questions diverses.*

**Par E. CAHEN,**

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,  
Professeur de mathématiques spéciales au Collège Rollin.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE VIII-403 PAGES; 1900 ..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

---

# ŒUVRES SCIENTIFIQUES

DE

**GUSTAVE ROBIN,**

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

*Réunies et publiées sous les auspices du Ministère  
de l'Instruction publique,*

**Par Louis RAFFY,**

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

---

*Physique mathématique* (Distribution de l'Électricité, Hydrodynamique,  
Fragments divers). Un fascicule grand in-8; 1899..... 5 fr.

---

## TRAITÉ D'ALGÈBRE SUPÉRIEURE

**Par Henri WEBER,**

Professeur de Mathématiques à l'Université de Strasbourg.

Traduit de l'allemand sur la deuxième édition

**Par J. GRIESS,**

Ancien Élève de l'École Normale Supérieure,  
Professeur de Mathématiques au Lycée Charlemagne.

---

**PRINCIPES. — RACINES DES ÉQUATIONS.  
GRANDEURS ALGÈBRIQUES. — THÉORIE DE GALOIS.**

---

Un beau volume grand in-8 de xii-764 pages; 1898..... 22 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS]

## LES MÉTHODES NOUVELLES

DE LA

# MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par **H. POINCARÉ**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques; 1892..... 12 fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Bohlin; 1894. 14 fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques; 1898..... 13 fr.

LEÇONS NOUVELLES

## D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par **Ch. MÉRAY**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I<sup>o</sup> PARTIE : Principes généraux; 1894..... 13 fr.

II<sup>o</sup> PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable; 1895..... 14 fr.

III<sup>o</sup> PARTIE : Questions analytiques classiques; 1897..... 6 fr.

IV<sup>o</sup> PARTIE : Applications géométriques classiques; 1898..... 7 fr.

## TRAITÉ D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Par **CH. ANDRÉ**,

Directeur de l'Observatoire de Lyon, Professeur d'Astronomie  
à l'Université de Lyon.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I<sup>o</sup> PARTIE : Étoiles simples, avec 29 figures et 2 planches; 1899..... 9 fr.

II<sup>o</sup> PARTIE : Étoiles doubles et multiples..... (*Sous presse.*)

III<sup>o</sup> PARTIE : Photométrie, Photographie. Spectroscopie..... (*En préparation.*)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

À côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## PETITS CLICHÉS ET GRANDES ÉPREUVES.

GUIDE PHOTOGRAPHIQUE DU TOURISTE CYCLISTE.

Par Jean BERNARD et L. TOUCHEBEUF.

In-18 jésus; 1898..... 2 fr. 75 c.

## REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900 ..... 2 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens ... 32 fr.  
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

## PRINCIPES ET PRATIQUE D'ART EN PHOTOGRAPHIE,

LE PAYSAGE,

Par Frédéric DILLAYE.

Un volume in-8 avec 32 figures et 31 photogravures de paysages; 1899. 5 fr.

## FORMULES, RECETTES ET TABLES POUR LA PHOTOGRAPHIE ET LES PROCÉDÉS DE REPRODUCTION,

Par le Dr J.-M. EDER.

Édition revue par l'auteur et traduite de l'allemand,

Par G. BRAUN fils.

Un volume in-18 jésus de 185 pages; 1900..... 4 fr.

## LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

### TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.  
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1<sup>er</sup> Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2<sup>o</sup> Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

### LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections;

Par II. FOURTIER, P. BOURGEOIS et M. BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

### L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,

ÉTUDE PRATIQUE. EXAMEN. ESSAI. CHOIX ET MODE D'EMPLOI.

Par P. MOESSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,

Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 116 figures et 1 planche; 1899.... 6 fr. 50 c.

### MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine  
de Bordeaux.

3<sup>e</sup> ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

### MANUEL PRATIQUE D'HÉLIOGRAVURE EN TAILLE-DOUCE,

Par M. SCHILTZ.

Un volume in-18 jésus; 1899..... 1 fr. 75 c.

### LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

DIX LEÇONS DE PHOTOGRAPHIE,

Par E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE  
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES  
A L'USAGE DES AMATEURS,

Par E. TRUTAT.

2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 2 vol. in-18 jésus..... 5 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : *Obtention des petits clichés*, avec 81 figures; 1900.... 2 fr. 75 c.

II<sup>e</sup> PARTIE : *Agrandissements*, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

---

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE  
EN 1899.

Brochures in-8; 1899. — *On vend séparément :*

LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE, par R. COLSON.. 1 fr.

LA PHOTOCOLLOGRAPHIE, par G. BALAGNY..... 1 fr. 25 c.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.

LA MÉTROPHOTOGRAPHIE, avec 17 figures et 2 planches, par le Colonel A. LAUSSEDAT..... 2 fr. 75 c.

LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS, avec 29 figures, par Albert LONDE..... 1 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE, avec 19 figures, par H. MEYER-HEINE..... 1 fr. 50 c.

SUR LES PROGRÈS RÉCENTS ACCOMPLIS AVEC L'AIDE DE LA PHOTOGRAPHIE DANS L'ÉTUDE DU CIEL; avec 2 planches, par P. PUISEUX..... 2 fr.

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE, avec 23 fig., par MAREY. 1 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE DES MONTAGNES, avec 19 figures, par J. VALLOT..... 1 fr. 75 c.

LES AGRANDISSEMENTS, avec fig., par E. WALLON. 1 fr. 75 c.

LA MICROPHOTOGRAPHIE, avec 2 planches, par MONPILLARD.

LE RÔLE DES DIVERSES RADIATIONS EN PHOTOGRAPHIE, avec 8 figures, par P. VILLARD..... 1 fr.

LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAVURE, avec figures, par Léon VIDAL..... (Sous presse.)

---

28188. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C<sup>o</sup>, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n<sup>o</sup> 159.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Août 1899)

VIENT DE PARAÎTRE

Traité de

## Chirurgie d'urgence

Par **FÉLIX LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

Chirurgien de la Maison municipale de Santé, Membre de la Société de Chirurgie.

*Avec 482 figures, dont 180 dessinées d'après nature  
par le Dr DALEINE, et 103 photographies originales.*

1 volume grand in-8°. Relié toile. . . . . 22 fr.

Le *Traité de chirurgie d'urgence* de M. Félix Lejars répond à un besoin qui se faisait sentir ; il examine, il discute et il expose la conduite que le chirurgien doit tenir dans tous les cas qui sont de son ressort et qui exigent une solution immédiate.

Le champ de cette importante portion de la pratique chirurgicale s'est beaucoup augmenté, ses moyens se sont entièrement modifiés depuis une quinzaine d'années ; l'intervention d'urgence est devenue la règle dans une quantité d'affections du crâne, de la cavité thoracique, de l'abdomen, où l'expectative seule semblait jusqu'à présent possible. Nos moyens d'action se sont accrus d'une foule de procédés techniques et scientifiques nouveaux, l'instrumentation elle-même se transforme en se perfectionnant sans cesse ; il était nécessaire non seulement de poser les indications nouvelles, mais d'en préciser le mode d'exécution. C'est ce qu'a fait M. Lejars ; son livre est plus qu'un manuel, qu'un guide de praticien ; c'est un ouvrage complet, appuyé sur des sources bibliographiques nombreuses et choisies avec soin, étudié et raisonné dans tous ses chapitres, et dont l'intelligence est rendue facile par une quantité de figures, pour la plupart originales et très claires, qui font assister le lecteur aux temps les plus importants des opérations décrites par l'auteur. Nous ne doutons nullement qu'il ne rende les plus réels services et qu'il ne soit accueilli avec la faveur qu'il mérite et qu'ont obtenue tous les autres ouvrages de M. Lejars. (*Présentation par le professeur Berger à l'Académie de médecine.*)

# Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**Simon DUPLAY**

Professeur à la Faculté de médecine  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu  
Membre de l'Académie de médecine

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine  
Chirurgien des hôpitaux  
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE, FORGUE  
GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON  
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT  
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

## DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. En souscription . . . 150 fr.

**TOME I. — 1 vol. grand in-8° avec 218 figures . . . . . 18 fr.**

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.

BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.

LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

**TOME II. — 1 vol. grand in-8° avec 361 figures . . . . . 18 fr.**

LEJARS. — Nerfs.

MICHAUX. — Artères.

QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.

PONCET. — Affections non traumatiques des os.

**TOME III. — 1 vol. grand in-8° avec 285 figures . . . . . 18 fr.**

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.

GÉRARD MARCHANT. — Crâne.

KIRMISSON. — Rachis.

S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

**TOME IV. — 1 vol. grand in-8° avec 354 figures . . . . . 18 fr.**

DELENS. — L'œil et ses annexes.

GERARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.

HEYDENREICH. — Mâchoires.

**TOME V. — 1 vol. grand in-8° avec 187 figures . . . . . 20 fr.**

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.

HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.

WALTHER. — Maladies du cou.

PEYROT. — Poitrine.

PIERRE DELBET. — Mamelle.

**TOME VI. — 1 vol. grand in-8° avec 218 figures . . . . . 20 fr.**

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.

BERGER. — Hernies.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.

FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.

QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.

SEGOND. — Foie.

**TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° avec 297 figures dans le texte. 25 fr.**

WALTHER. — Bassin.

FORGUE. — Urètre et prostate.

RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.

TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres. Capsules surrénales.

**TOME VIII. — 1 fort vol. avec figures dans le texte (Soué presse).**

MICHAUX. — Vulve et vagin.

P. DELBET. — Maladies de l'utérus.

SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.

KIRMISSON. — Maladies des membres.

**CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD**

BABINSKI, BALLET, P. BLOCO, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE,  
 CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD,  
 L. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU  
 NETTER, OËTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT,  
 SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

# Traité de Médecine

## DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**BOUCHARD**

Professeur à la Faculté de médecine  
 de Paris,  
 Membre de l'Institut.

**BRISSAUD**

Professeur à la Faculté de médecine  
 de Paris,  
 Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

*En souscription.* . . . . . 150 fr.

**TOME I<sup>er</sup>**

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

**Les Bactéries**, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur de laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Portefontaine.

**TOME II**

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**Fièvre typhoïde**, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par OËTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

**TOME III**

VIENT DE PARAÎTRE

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**Maladies cutanées**, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

**TOME IV**

Pour paraître en octobre

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte.

**Maladies de la bouche et du pharynx**, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

# Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

**J. COMBY**

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

**A.-B. MARFAN**

Agrégé,  
Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . . 90 fr.

## DIVISIONS DE L'OUVRAGE

**TOME I.** — 1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec fig. dans le texte. 18 fr.  
Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

**TOME II.** — 1 vol. in-8° de 818 pages avec fig. dans le texte. 18 fr.  
Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

**TOME III.** — 1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. 20 fr.  
Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

**TOME IV.** — 1 vol. de 880 pages avec figures dans le texte. 18 fr.  
Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

**TOME V.** — 1 vol. de 890 pages avec figures dans le texte. 18 fr.  
Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus et du nouveau-né. — Maladies chirurgicales des os, articulations, etc. — Table alphabétique des matières des 5 volumes.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

---

# Traité de Thérapeutique chirurgicale

PAR

**Emile FORGUE**

Professeur de clinique chirurgicale  
à la Faculté de médecine de Montpellier,  
Membre correspondant  
de la Société de Chirurgie,  
Chirurgien en chef de l'hôpital St-Eloi,  
Médecin-major hors cadre.

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé  
à la Faculté de médecine de Paris,  
Chirurgien de l'hôpital Laënnec,  
Secrétaire général  
de la Société de Chirurgie,  
Membre de l'Académie de médecine.

**DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE**

AVEC 472 FIGURES DANS LE TEXTE

2 volumes grand in-8° de 2116 pages. . . . . 34 fr.

# Traité élémentaire de Clinique Thérapeutique

Par le **D<sup>r</sup> Gaston LYON**

Ancien chef de clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris

**TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE**

1 volume grand in-8° de VIII-1332 pages. Relié peau. 20 fr.

Nous voyons avec plaisir le public médical confirmer tout le bien que nous avons dit de cet ouvrage dès ses premières éditions. Il arrive aujourd'hui à sa troisième édition, et il comporte des améliorations et des additions telles qu'un nouveau succès lui est assuré.

M. G. Lyon a revu son livre avec la même conscience qu'il mit à l'élaborer. C'est toujours la même préoccupation d'être clair, précis et utile et d'appuyer les procédés thérapeutiques sur un exposé pathogénique et clinique de l'affection à laquelle ils s'adressent, et d'indiquer avec exactitude comment il faut s'y prendre pour que l'action médicale ait son efficacité maxima. Les livres ainsi conçus sont rares. Employez tel médicament, dit le Traité de pathologie et même de thérapeutique. Comment? Sous quelle forme? A quelle dose? Combien de temps? Il n'en parle souvent pas. La clinique thérapeutique de G. Lyon comble cette lacune. Les faits y sont exposés avec simplicité, toujours sous le couvert d'une autorité incontestable.... Bref, cette édition est le perfectionnement de ses devancières.

(Archives générales de médecine, juin 1899.)

## LES MÉDICAMENTS CHIMIQUES

Par **Léon PRUNIER**

Pharmacien en chef des Hôpitaux de Paris,  
Professeur de pharmacie chimique à l'École de Pharmacie,  
Membre de l'Académie de Médecine.

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . . 30 fr.

*On vend séparément :*

**TOME I. Composés minéraux.** 1 vol. grand in-8° avec 137 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

**TOME II. Composés organiques.** 1 vol. grand in-8° avec 41 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

Cet ouvrage n'est point un traité de chimie, pas plus qu'un traité de pharmacologie, et moins encore un formulaire ou un manuel. C'est un résumé technique et professionnel, dans lequel médecins, pharmaciens ou étudiants trouveront, rassemblés et coordonnés, les documents, dispersés un peu partout, qui peuvent intéresser l'étude chimique des médicaments. M. Prunier a groupé les nombreux médicaments chimiquement définis en consacrant à chacun d'eux une monographie plus ou moins condensée, mais, avant tout, rédigée au point de vue professionnel. C'est un ouvrage appelé à rendre de grands services; c'est le premier qui ait été conçu dans cet esprit pratique et M. Prunier était tout désigné pour le réaliser avec cette unité de vues et avec sa valeur technologique. Il est enrichi de nombreuses gravures et l'impression en a été particulièrement soignée.

# Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

**P. POIRIER**

Professeur agrégé  
à la Faculté de Médecine de Paris  
Chirurgien des Hôpitaux.

**A. CHARPY**

Professeur d'anatomie  
à la Faculté de Médecine  
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE

B. Cunéo. — P. Frédet. — P. Jacques. — Th. Jonnesco.  
L. Manouvrier. — A. Nicolas. — A. Prenant. — H. Rieffel.  
Ch. Simon. — A. Soulié.

5 volumes grand in-8°.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures, la plupart tirées en plusieurs couleurs d'après les dessins originaux de MM. Ed. CUYER et A. LEUBA.

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1<sup>er</sup> AOUT 1899

## TOME PREMIER

(Volume complet.)

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Deuxième édition. Un volume grand in-8° avec 807 figures en noir et en couleurs . . . . . 20 fr.

## TOME DEUXIÈME

- 1<sup>er</sup> Fascicule : Myologie. Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : Angéiologie (Cœur et Artères). Un volume grand in-8° avec 145 figures en noir et en couleurs . . . . . 8 fr.  
3<sup>e</sup> Fascicule : Angéiologie (Capillaires, Veines). Un volume grand in-8° avec 75 figures en noir et en couleurs . . . . . 6 fr.

## TOME TROISIÈME

(Volume complet.)

- 1<sup>er</sup> Fascicule : Système nerveux (Méninges, Moelle, Encéphale). 1 vol. grand in-8° avec 204 figures en noir et en couleurs . . . 10 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : Système nerveux (Encéphale). Un vol. grand in-8° avec 206 figures en noir et en couleurs. . . . . 12 fr.  
3<sup>e</sup> Fascicule : Système nerveux (Les Nerfs. Nerfs crâniens. Nerfs rachidiens). 1 vol. grand in-8° avec 205 figures en noir et en couleurs. . . . . 12 fr.

## TOME QUATRIÈME

- 1<sup>er</sup> Fascicule : Tube digestif. Un volume grand in-8°, avec 158 figures en noir et en couleurs . . . . . 12 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons, plèvres, thyroïde, thymus. Un volume grand in-8°, avec 121 figures en noir et en couleurs. . . . . 6 fr.

## IL RESTE A PUBLIER :

Les Lymphatiques qui termineront le tome II. Les Annexes du tube digestif et le Péritoine qui termineront le tome IV. Les Organes génito-urinaires et les Organes des sens seront, afin d'éviter des volumes d'un maniement difficile, l'objet d'un tome V qui contiendra, en outre, un chapitre d'Indications anthropométriques et la Table alphabétique des matières de l'ouvrage.

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr. CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journallement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides que soient leurs différentes éditions, auront toujours grand-peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous avons fondé, avec le concours des savants les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre, *l'Œuvre médico-chirurgical*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publions, aussi souvent qu'il est nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résume et met au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. . . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 1. **L'Appendicite**, par le Dr FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux (*épuisé*).
- N° 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le Dr A. CHIFFAULT, de Paris.
- N° 3. **Le Lavage du Sang**, par le Dr LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.
- N° 4. **L'Hérédité normale et pathologique**, par le Dr CH. DEBIERRE, professeur d'anatomie à l'Université de Lille.
- N° 5. **L'Alcoolisme**, par le Dr JAQUET, privat-docent à l'Université de Bâle.
- N° 6. **Physiologie et pathologie des sécrétions gastriques**, par le Dr A. VERHAEGEN, assistant à la Clinique médicale de Louvain.
- N° 7. **L'Eczéma**, par le Dr LEREDDE, chef de laboratoire, assistant de consultation à l'hôpital Saint-Louis.
- N° 8. **La Fièvre jaune**, par le Dr SANARELLI, directeur de l'Institut d'hygiène expérimentale de Montévidéo.
- N° 9. **La Tuberculose du rein**, par le Dr TUFFIER, professeur agrégé, chirurgien de l'hôpital de la Pitié.
- N° 10. **L'Opothérapie. Traitement de certaines maladies par des extraits d'organes animaux**, par A. GILBERT, professeur agrégé, chef du laboratoire de thérapeutique à la Faculté de médecine de Paris, et P. CARNOT, docteur ès sciences, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- N° 11. **Les Paralysies générales progressives**, par le Dr KLIPPEL, médecin des hôpitaux de Paris.
- N° 12. **Le Myxœdème**, par le Dr THIBERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié.
- N° 13. **La Néphrite des Saturniens**, par le Dr H. LAVRAND, professeur à la Faculté catholique de Lille.
- N° 14. **Le Traitement de la Syphilis**, par le Dr E. GAUCHER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- N° 15. **Le Pronostic des tumeurs basé sur la recherche du glycoène**, par le Dr A. BRAULT, médecin de l'hôpital Tenon.
- N° 16. **La Kinésithérapie gynécologique** (*Traitement des maladies des femmes par le massage et la gymnastique*), par le Dr H. STAPFER, ancien chef de clinique de la Faculté de Paris.
- N° 17. **De la gastro entérite aiguë des nourrissons** (*Pathogénie et étologie*), par A. LESAGE, médecin des hôpitaux de Paris.
- N° 18. **Traitement de l'Appendicite**, par FÉLIX LEGUEU, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux.

**Leçons sur les Maladies nerveuses.** *Deuxième série :*  
**Hôpital Saint-Antoine**, par E. BRISSAUD, professeur à la  
 Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine,  
 recueillies et publiées par Henry MEIGE. 1 volume grand in-8°  
 avec 163 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

**Précis d'anatomie pathologique**, par L. BARD, profes-  
 seur à la Faculté de médecine de l'Université de Lyon, médecin de  
 l'Hôtel-Dieu. *Deuxième édition, revue et augmentée*, avec 125 figures  
 dans le texte. 1 volume in-16 diamant, de XII-804 pages, cartonné  
 toile, tranches rouges . . . . . 7 fr. 50

**Traité d'Ophthalmoscopie**, par Étienne ROLLET, profes-  
 seur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien des hôpitaux de  
 Lyon. 1 volume in-8° avec 50 photographies en couleurs et 75 fi-  
 gures dans le texte, cartonné toile, tranches rouges. . . . . 9 fr.

**Traité pratique de la Tuberculose pulmonaire**,  
 par le Dr P. BOUILLET, membre de la ligue contre la tuberculose.  
 1 volume in-12. . . . . 4 fr.

**Emplois thérapeutiques de l'Acide cacodylique  
 et de ses dérivés**, par Armand GAUTIER, de l'Institut,  
 membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de  
 médecine de Paris. 1 brochure in-8° . . . . . 1 fr. 50

**Hygiène de l'Allaitement :** Allaitement au sein ; allaitement  
 artificiel ; allaitement mixte ; sevrage, par le Dr Henri de  
 ROTHSCHILD, ancien externe des hôpitaux de Paris, lauréat de  
 la Faculté de médecine. 1 volume in-8°, avec figures dans le  
 texte. . . . . 1 fr. 50

**Les Enfants assistés de France**, par Henri MONOD, con-  
 seiller d'État, directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publiques,  
 membre de l'Académie de médecine. 1 volume in-8° . . . . . 3 fr.

**Consultations médicales sur quelques maladies  
 fréquentes.** *Quatrième édition, revue et considérablement  
 augmentée*, suivie de quelques principes de Déontologie médi-  
 cale et précédée de quelques règles pour l'examen des malades,  
 par le Dr J. GRASSET, professeur de clinique médicale à l'Univer-  
 sité de Montpellier, correspondant de l'Académie de médecine.  
 1 volume in-16, reliure souple, peau pleine. . . . . 4 fr. 50

**Traité de la Cystostomie sus-pubienne chez les prostatiques. Création d'un urèthre hypogastrique : application de cette méthode aux diverses affections des voies urinaires,** par Antonin PONCET, professeur de clinique chirurgicale à l'Université de Lyon, ex-chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu, membre correspondant de l'Académie de médecine, et Xavier DELORE, chef de clinique chirurgicale à l'Université de Lyon. 1 volume in-8°, avec 42 figures dans le texte. . . . . 8 fr.

**Traité clinique de l'Actinomyose humaine, des pseudo-Actinomyoses et de la Botryomyose,** par le professeur A. PONCET et L. BÉRARD, chef de clinique à la Faculté de médecine de Lyon, ancien interne des hôpitaux. 1 volume in-8°, avec 45 figures dans le texte et 4 planches hors texte en couleurs. . . . . 12 fr.

**Traité des maladies chirurgicales d'origine congénitale,** par le Dr E. KIRMISSON, professeur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Trousseau, membre de la Société de Chirurgie. 1 volume grand in-8° avec 311 figures dans le texte et 2 planches en couleurs. . . . . 15 fr.

**Chirurgie opératoire de l'Oreille moyenne,** par A. BROCA, chirurgien de l'hôpital Trousseau, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 1 volume in-8° avec 98 figures dans le texte. . . . . 3 fr. 50

**Manuel de Pathologie externe. Tome III. Maladies des régions : Cou, Poitrine, Abdomen,** par J.-J. PEYROT, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie. *Sixième édition*, entièrement refondue, avec figures dans le texte. 1 volume in-8°. . . . . 10 fr.

**Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu,** par Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs Maurice CAZIN, chef de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des travaux gynécologiques. *Deuxième série*. 1 volume grand in-8° avec figures. . . . . 8 fr.

## Bibliothèque

## d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

## Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,  
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges  
et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

## VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des Hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le D<sup>r</sup> SPRINGER, ancien interné des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le D<sup>r</sup> CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du D<sup>r</sup> DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le D<sup>r</sup> GAUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNE-  
LONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le D<sup>r</sup> VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.

## VOLUMES EN PRÉPARATION

- L'Hygiène des Dyspeptiques**, par le D<sup>r</sup> LINOSSIER.
- Hygiène thérapeutique des maladies de la peau**, par le D<sup>r</sup> THIBIERGE.

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

**Recettes et Procédés utiles**, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Neuvième édition*.

**Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique**, par Gaston TISSANDIER. *Cinquième édition*, avec figures dans le texte.

**Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série**, par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition*, avec 91 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Quatrième série**, par Gaston TISSANDIER. *Deuxième édition*, avec 38 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Cinquième série**, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

**La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire**, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Septième édition des Récréations scientifiques. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon)*. Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

**Dictionnaire usuel des Sciences médicales**

PAR MM.

**DECHAMBRE, MATHIAS DUVAL, LEREBoullet**

Membres de l'Académie de médecine.

**TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET COMPLÉTÉE**

1 vol. gr. in-8° de 1.800 pages, avec 450 fig., relié toile. 25 fr.

Ce dictionnaire usuel s'adresse à la fois aux médecins et aux gens du monde. Les premiers y trouveront aisément, à propos de chaque maladie, l'exposé de tout ce qu'il est essentiel de connaître pour assurer, dans les cas difficiles, un diagnostic précis. Les gens du monde se familiariseront avec les noms souvent barbares que l'on donne aux symptômes morbides et aux remèdes employés pour les combattre. En attendant le médecin, ils pourront parer aux premiers accidents, et, en cas d'urgence, assurer les premiers secours.

**Traité****VIENT DE PARAÎTRE****d'Analyse chimique****QUANTITATIVE PAR ÉLECTROLYSE****Par J. RIBAN**Professeur chargé du cours d'analyse chimique  
et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.*1 vol. grand in-8°, avec 96 figures dans le texte. 9 fr.*

L'analyse quantitative par électrolyse acquiert chaque jour une plus grande importance dans les laboratoires consacrés à la science ou aux essais industriels. Ses méthodes ont très heureusement simplifié bien des problèmes délicats et introduit dans les dosages ordinaires, tout en conservant l'exacritude indispensable, une grande rapidité d'exécution.

Le livre que l'auteur présente aujourd'hui sur ce sujet n'est que le développement d'une portion du cours d'analyse quantitative qu'il professe depuis bien des années à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. Il a pour but, non seulement d'initier le lecteur à l'analyse chimique par électrolyse, mais encore de lui servir de guide dans ses applications journalières.

Tenu au courant des derniers progrès accomplis, il résume l'état actuel de la science sur la question qui en fait l'objet.

**Manuel pratique****VIENT DE PARAÎTRE****de l'Analyse des Alcools****ET DES SPIRITUEUX**

PAR

**Charles GIRARD**Directeur du Laboratoire municipal  
de la Ville de Paris.**Lucien CUNIASSE**Chimiste-expert  
de la Ville de Paris.*1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile. 7 fr.*

Ce nouveau manuel pratique de l'analyse des alcools et des spiritueux forme un recueil dans lequel les nombreux procédés analytiques qui intéressent les produits alcooliques se trouvent condensés sous une forme brève et exacte, dans le but d'éviter les recherches au chimiste praticien.

Au début du livre, les auteurs divulguent les secrets de la dégustation; ils passent ensuite en revue les différentes méthodes et les appareils proposés pour le dosage direct de l'alcool. La méthode de distillation est décrite avec soins, en indiquant les précautions à prendre afin d'éviter les causes d'erreurs et d'unifier les résultats obtenus. De nombreuses tables très complètes accompagnent les différents chapitres. Les méthodes d'analyse des spiritueux sont exposées de façon à pouvoir être mises en œuvre pratiquement, et presque sans raisonnement; ces méthodes sont données avec les dernières modifications qui ont pu leur être apportées. Des tables et des courbes inédites, rigoureusement exactes, accompagnent les méthodes. Enfin des tableaux représentant les résultats de l'analyse d'un grand nombre d'échantillons en spiritueux terminent l'ouvrage.

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON

(1883-1899)

VIENT DE PARAÎTRE

# Chimie végétale et agricole

PAR

**M. BERTHELOT**Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,  
Professeur au Collège de France.

4 volumes in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 36 fr.

Cet ouvrage renferme l'ensemble des recherches poursuivies depuis seize ans dans le laboratoire de chimie végétale de Meudon, en vue de poursuivre les problèmes relatifs à la chimie biologique, étroitement liée avec la synthèse chimique d'une part, et avec la chimie agricole d'autre part. C'est une œuvre personnelle et originale.

Le tome I<sup>er</sup> traite de la *fixation de l'azote libre sur la terre et sur les végétaux*, question controversée depuis un siècle, et à laquelle l'auteur a apporté des solutions et une doctrine définitive. Les expériences exposées dans ce volume démontrent, en effet, cette fixation par deux voies différentes : fixation électrique opérée sous l'influence de l'électricité atmosphérique silencieuse, et fixation microbienne opérée sous l'influence des microorganismes contenus dans le sol. Sous cette double influence, l'azote devient actif et entre dans la constitution des plantes et des animaux.

Le tome II est consacré à l'étude de la *marcbe général de la végétation*, et à la détermination de l'équation chimique pondérale d'une plante annuelle, depuis son ensemencement jusqu'à sa mort. Il se termine par l'examen des relations entre les énergies chimiques et les énergies lumineuses.

Dans le tome III sont exposées les *recherches spéciales sur la végétation* : présence et distribution du soufre, du phosphore, de la silice; existence et formation des azotates, recherches sur les acides oxalique et carbonique, sur les transformations chimiques des sucres, enfin étude sur les principes oxydables doués de propriétés oxydantes, principes qui jouent un rôle essentiel en chimie physiologique.

Le tome IV comprend deux parties distinctes : une générale relative à la terre végétale, à l'analyse et au dosage de ses divers éléments, à l'examen des principes organiques qui la constituent et de leurs relations avec l'ammoniaque atmosphérique ; l'autre spéciale, concernant la formation des éthers et du bouquet des vins, leur oxydation, leurs changements lents, le dosage de l'acide tartrique, etc.

# La Photographie Française

REVUE MENSUELLE ILLUSTRÉE

*des Applications de la Photographie à la Science, à l'Art  
et à l'Industrie.*

Louis GASTINE, DIRECTEUR

---

TIRÉE sur beau papier de luxe, abondamment illustrée de magnifiques phototypies et de simili-gravures hors texte, ainsi que d'une foule de reproductions de tous genres intercalées dans le texte, **LA PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** est le journal le plus lu et le moins cher de tous les véritables journaux de photographie.

C'est un organe absolument indépendant, ouvert à toutes les communications intéressantes et fait dans un esprit absolument libéral pour contribuer au progrès de la photographie de la façon la plus élevée.

**LA PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** peut être mise dans toutes les mains. En dehors de ses chroniques d'actualité illustrées, **LA PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** publie des articles de fond sur toutes les plus récentes applications de la photographie à la science, à l'art et à l'industrie; des relations de voyage, des nouvelles et des romans illustrés par la photographie. — Elle rend compte de toutes les nouvelles créations d'appareils et de produits photographiques. — Elle signale tous les procédés, les nouvelles recettes, les nouvelles formules, les nouveaux brevets photographiques et publie dans ses *Echos* toutes les informations capables, à un titre quelconque, d'intéresser ceux qui s'occupent de photographie. Chaque numéro contient une *Revue* de tous les journaux de photographie. — Enfin, elle mentionne tous les Concours, les Expositions, les excursions, Congrès et Conférences photographiques ainsi que les travaux des Sociétés françaises et étrangères, sans préjudice des articles qu'elle consacre à la vulgarisation des innombrables applications de la photographie par de véritables traités pratiques sur tous les travaux spéciaux de cet art.

C'est un journal technique, mais rédigé de façon à être compris par les lecteurs les plus étrangers aux choses photographiques et dont la lecture est très attrayante parce que chaque numéro contient une part considérable de Variétés littéraires, artistiques, industrielles et scientifiques que tout le monde peut apprécier.

---

## ABONNEMENTS :

UN AN. — PARIS, 6 fr. 50. — PROVINCE, 7 fr. — ÉTRANGER, 8 fr.

*Prix spéciaux pour les abonnés de LA NATURE*

Paris : 5 fr. — Départ. : 5 fr. 50. — Étranger : 7 fr.

*Envoi de numéros spécimens à toute personne qui en fait la demande.*

# Traité de Zoologie

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE

## FASCICULE V

*Amphioxus — Tuniciers*

1 vol. gr. in-8° de 221 pages avec 97 figures dans le texte. **6 fr.**

### ONT DÉJÀ PARU :

FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte. . . . .	12 fr.
FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures. . . . .	10 fr.
FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures. . . . .	8 fr.
Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1341 pages, avec 980 figures. . . . .	30 fr.
FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte. . . . .	16 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

# COURS ÉLÉMENTAIRE DE ZOOLOGIE

Par **Rémy PERRIER**

Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,  
Chargé du Cours de Zoologie  
Pour le certificat d'études physiques, chimiques et naturelles.

1 vol. in-8° de 774 pages avec 693 figures. Relié toile : **10 fr.**

Ce livre s'adresse à tous ceux qu'intéresse l'étude des sciences naturelles et des lois de l'évolution des êtres vivants. A notre époque les naturalistes ne se contentent plus de moissonner des faits; ils cherchent à coordonner ces faits, à connaître leur raison d'être, à les expliquer: l'histoire naturelle a, de nos jours, fait place aux sciences naturelles. Il importe à tous, aux futurs médecins, aux philosophes, de connaître, dans leurs grandes lignes, ces théories explicatives, ces lois générales de la Biologie. C'est pourquoi M. Rémy Perrier leur a fait une large place; sans négliger les descriptions des divers types d'animaux, l'auteur insiste particulièrement sur les faits qui peuvent mettre en lumière leurs rapports réciproques, leur parenté mutuelle, qui permettent de dresser leur arbre généalogique. Il tâche de faire surtout ressortir les lois générales de la Zoologie, dont l'exposé est fait dans les premières pages du livre, et dont les applications sont indiquées dans le corps de l'ouvrage.

L'ouvrage est richement illustré: il ne comporte pas moins de 693 figures, comprenant ensemble plus de 1100 dessins. En somme, ce livre comble une lacune importante. Il donne un résumé précis de l'état actuel de la Zoologie moderne, et convient à tous ceux qui ne peuvent aborder l'étude des grands traités de Zoologie.

IENT DE PARAÎTRE

LA

# Distribution d'Énergie Électrique

## EN ALLEMAGNE

PAR

**Charles BOS**

Député de la Seine  
Ancien Conseiller municipal de Paris  
Ancien Rapporteur des questions  
d'énergie électrique à l'Hôtel de Ville.

**J. LAFFARGUE**

Ingénieur-Electricien  
Licencié ès sciences Physiques  
Attaché au Service Municipal  
d'Électricité de la Ville de Paris.

*Un beau volume très grand in-8°, illustré de 203 planches et figures  
avec de nombreux tableaux.*

**Relié toile. . . . . 22 fr.**

Cet ouvrage a été écrit à la suite d'un voyage en Allemagne, effectué par les auteurs, pour se rendre compte sur place des distributions d'énergie électrique existantes, soit pour l'alimentation de lampes à arc, à incandescence, moteurs électriques, soit pour la traction électrique. Les auteurs relatent tout ce qu'ils ont pu observer d'intéressant dans leur voyage à travers les grandes villes d'Allemagne : Francfort, Düsseldorf, Hambourg, Cologne, Berlin, Leipzig, Munich, etc., etc. Ils donnent la description des stations centrales, ainsi que les résultats d'exploitation obtenus depuis plusieurs années. Des chapitres spéciaux sont consacrés aux installations de traction électrique, aux renseignements sur les canalisations, aux appareils d'utilisation, aux règlements concernant les installations, etc., etc. C'est en résumé un ouvrage complet sur la distribution de l'énergie électrique en Allemagne; muni d'une élégante reliure, brillamment illustré de planches en phototypie, et de gravures dans le texte qui en font un véritable album, il a sa place marquée dans la bibliothèque de tout ingénieur electricien soucieux de se tenir au courant des progrès de la science.

*(La Revue Municipale, 8 juillet 1899.)*

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 16251.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (24 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

PICOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.). — Canalisations électriques.  
A. GOULLY. — Air comprimé ou rarefié. — Géométrie descriptive (3 vol.).  
DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Calorimétrie. — II. Dynamique.  
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Déteinte variable de la vapeur. — Épures de régulation.  
M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.  
ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie. — III. Construction et résistance des machines à vapeur.  
AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.  
LINDET. — La bière.  
SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER. — Le grisou.  
DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.  
CRONEAU. — I. Canon, torpilles et cuivasses. — II. Construction du navire.  
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.  
BERTIN. — État de la marine de guerre.  
BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.  
DE VIARIS. — L'art de chiffrier et déchiffrier les dépêches secrètes.  
GUILLAUME. — Unités et étalons.  
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.  
MINEL (P.). — Électricité industrielle. (2 vol.). — Électricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
HERBERT. — Boissons falsifiées.  
NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.  
BLOCH. — Eau sous pression.  
DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).  
PRUD'HOMME. — Teinture et impression.  
SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.  
DE BILLY. — Fabrication de la fonte.  
HENNEBERT (C<sup>1</sup>). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.  
CASPARI. — Chronomètres de marine.

### Section du Biologiste

FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.  
MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.  
ATVARD. — I. Séméiologie générale. — II. Menstruation et fécondation.  
G. WEISS. — Electro-physiologie.  
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).  
Trousseau. — Hygiène de l'œil.  
PÉRE. — Epilepsie.  
LAVERAN. — Paludisme.  
POLIN et LABIT. — Aliments suspects.  
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.  
MEGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.  
DEMELIN. — Anatomie obstétricale  
Th. SCHLÖSSING fils. — Chimie agricole.  
CUÉNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux  
A. OLIVIER. — L'accouchement normal.  
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
CHARBIN. — Poisons de l'organisme (3 v.)  
ROGER. — Physiologie du foie.  
BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).  
HANOT. — De l'endocardite aiguë.  
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).  
BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.  
DE CAZAL ET CATRIN. — Médecine légale militaire.  
LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières.  
KÖHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.  
BEAUREGARD. — Le microscope.  
LESAGE. — Le choléra.  
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.  
CORNEVIN. — Production du lait.  
J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).  
CASTEX. — Hygiène de la voix.  
MERKLEN. — Maladies du cœur.  
G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
OLLIER. — I. Résections sous-périostées. — II. Résections des grandes articulations.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.  
 DUBÉBOUT et CRONAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.  
 C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.  
 H. LÉCOTTE et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
 HATT. — Les marées.  
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie. — III. Opérations financières.  
 C. VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Pro ectiles. Fusées cuirassées (2 vol.).  
 L. PLOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.  
 DARRIS. — Cubature des terrasses. — Conduites d'eau.  
 SIDERSKY. — I. Polarisation et saccharimétrie. — II. Constantes physiques.  
 NIKWENTOWSKI. — Applications scientifiques et industrielles de la photographie (2 vol.).  
 ROCQUES (X.). — Alcools et eaux-de-vie.  
 MOESSARD. — Topographie.  
 BOUSSAULT. — Calcul du temps de pose.  
 SEGUELLA. — Les tramways.  
 LAFEVRE (J.). — I. La spectroscopie. — II. La spectrométrie. — III. Eclairage électrique. — IV. Eclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.  
 BAKILLOI (E.). — Distillation des bois.  
 MOISSAN et OUVARD. — Le nicot.  
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.  
 LOPPE. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.  
 ARIES. — I. Chaleur et énergie. — II. Thermodynamique.  
 FABRY. — Piles électriques.  
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.  
 DUMONT. — Electromoteurs. — Automobiles sur rails.  
 MINET (A.). — I. L'électro-metallurgie. — II. Les fours électriques. — III. L'électro-chimie. — IV. L'électrolyse.  
 DUFOUR. — Tracé d'un chemin de fer.  
 MIRON (F.). — Les huiles minérales.  
 BORNÉQUE. — Armement portatif.  
 LAVERGNE. — Les turbines.  
 PERRISSÉ. — Automobiles sur routes.  
 LECORNU. — Regularisation du mouvement dans les machines.  
 LE VERRIER. — La fonderie.  
 SEYRIE. — Statique graphique (2 vol.).  
 LAURENT (P.). — Dechaussement des bouches à feu. — Résistance des bouches à feu.  
 JAUBERT. — L'industrie du goudron de houille.

### Section du Biologiste

- LETULLE. — Pus et suppuration.  
 CRITZMAN. — Le cancer. — La goutte.  
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.  
 SÉGLAS. — Le délire des négations.  
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
 GREHANT. — Les gaz du sang.  
 NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.  
 MOUSSOUS. — Malades congénitales du cœur.  
 BERTHAULT. — Les prairies (3 vol.).  
 TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.  
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.  
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.  
 THOULET. — Océanographie pratique.  
 HOUDAILLE. — Météorologie agricole.  
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.  
 HENOCQUE. — Spectroscopie biol.  
 GALIPEE et BARRE. — Le pain (2 v.).  
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La bactériologie charbonneuse. — III. La forme spécifique.  
 L'HOTE. — Analyse des engrais.  
 LARBALETRIER. — Les tourteaux — Résidus industriels employés comme engrais (2 v.). — Saure et margarine.  
 LE DANTEC et BERARD. — Les sporozoaires.  
 DENMLER. — Soins aux malades.  
 DALLEMAGNE. — Etudes sur la criminalité (3 vol.). — Etudes sur la violence (3 vol.).  
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).  
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.  
 EHLERS. — L'ergotisme.  
 BONNIER. — L'oreille (5 vol.).  
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.  
 LOVERDO. — Le ver à soie.  
 DUBREUILH et BEILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.  
 KAYSER. — Les loyures.  
 COLLET. — Troubles auditifs des malades nerveux.  
 LOUBRIÉ. — Essences forestières (2 vol.).  
 MONOD. — L'appendicite.  
 DELCABEL et COZETTE. — La vaccino.  
 WURTZ. — Technique bactériologique.  
 BARRY. — L'occlusion intestinale.  
 LAULANIE. — Energétique musculaire.  
 MALPEAUX. — Culture de la pomme de terre.  
 GIRAUDÉAD. — Péricardites.  
 BERTHELOT (M.). — Chaleur animale (2 vol.).