



*Section de l'Ingénieur*

---

F. MIRON.

---

# LES EAUX

# SOUTERRAINES

---

EAUX POTABLES — EAUX THERMO-MINÉRALES  
RECHERCHE — CAPTAGE

**GAUTHIER-VILLARS**  
**MASSON & C<sup>ie</sup>**





*Ce volume est une publication de l'encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire : L. ISLER, Secrétaire  
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 308 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

---

LES  
EAUX SOUTERRAINES

---

*EAUX POTABLES, EAUX THERMO-MINÉRALES.  
RECHERCHE, CAPTAGE.*

PAR

FRANÇOIS MIRON

Licencié ès Sciences Physiques  
Ingénieur Civil

---

PARIS

GAUTHIER-VILLARS	MASSON ET C <sup>ie</sup> , ÉDITEURS,
IMPRIMEUR-ÉDITEUR	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	

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

---

- I. Les Huiles minérales : Pétrole, schiste, lignite.**
- II. Les Eaux souterraines : Eaux potables, eaux thermo-minérales. Recherche, captage.**

## INTRODUCTION

---

Un système complet de circulation des eaux existe à l'intérieur du sol, dont les puits, les sources, les rivières sont la manifestation extérieure.

Au cours de son trajet souterrain l'eau météorique, la cause première de ces manifestations, a, dans certains cas, subi des modifications essentielles : elle tient en dissolution des sels, elle est devenue chaude, elle présente simultanément ces deux modifications.

Les eaux de sources, les eaux minérales, les eaux thermales, les eaux thermo-minérales, telles sont les désignations de ces divers états procédant d'une même origine.

La recherche de ces eaux, c'est-à-dire des réservoirs qui les alimentent, le choix des procédés de captage et d'adduction, sont autant de problèmes dont la solution intéresse l'industriel et les municipalités.

Simple à première vue, le problème est au fond complexe et délicat ; il exige de la part de l'ingénieur, en outre des connaissances spéciales à l'hydrologie, des connaissances géologiques

étendues auxquelles il devra joindre la pratique des sondages, des terrassements, des constructions.

La manière d'être des rivières de surface reflétant l'allure du réseau hydraulique souterrain, il est donc nécessaire de rappeler les caractéristiques des premières.



# PREMIÈRE PARTIE

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### LES EAUX MÉTÉORIQUES

La cause première des eaux courantes et des eaux de source réside dans les précipitations atmosphériques : pluie, neige, brouillard, lesquelles ont pour principe l'évaporation des eaux des océans, des lacs, des fleuves et des rivières.

Entraînées par le vent, ces vapeurs gagnent les régions élevées de l'atmosphère où, si une cause de refroidissement survient, il y aura condensation et, par suite, suivant la température, chute de pluie ou de neige.

La quantité d'eau qui tombe par année varie d'une contrée à l'autre et, souvent aussi, elle n'est point la même pour deux points cependant voisins d'une même région. C'est que l'altitude des lieux et la configuration du sol jouent un rôle important.

*Il pleut d'autant plus que l'altitude de la contrée est plus élevée.* Ceci s'explique facilement : le courant de vapeur d'eau forcé de s'élever pour franchir un massif montagneux gagne des régions où la pression atmosphérique est moindre ; il se dilate et, sa température s'abaissant de ce fait, la condensation des vapeurs et la pluie s'ensuivront, si la limite de saturation correspondant à la température du nuage est atteinte.

*La répartition des précipitations atmosphériques sera différente sur les deux versants d'une chaîne élevée ; la quantité de pluie tombant annuellement est plus grande sur le versant exposé aux vents humides et prédominants.* C'est la conséquence de ce que nous avons exposé plus haut, mais il en résulte aussi qu'après s'être dépouillé d'une partie de son humidité sur le versant qu'il frappait, le courant de vapeur d'eau franchira la ligne de faite, puis, descendant sur l'autre versant, il se contractera par suite de la différence d'altitude et verra sa température remonter. C'est ainsi qu'un vent froid et pluvieux sur l'un des versants est retrouvé chaud et sec sur l'autre.

Ces phénomènes exercent une notable influence sur la répartition des cours d'eau d'une contrée.

*Moyenne annuelle des quantités de pluie*

Plaines européennes. . . . .	0 <sup>m</sup> ,575	par an
Massifs montagneux européens.	1, 30	"
Vallée du Rhin . . . . .	0, 57	"
Hautes-Vosges . . . . .	1, 15	"
Toulouse, altitude 148 <sup>m</sup> ,50	0, 63	"
Castelnaudary, " 170	0, 63	"
Montsauche (Nièvre) " 560	1, 57	"
Paris " 35	0, 54	"
Embouchure de la Seine . . .	0, 79	"
Liverpool. . . . .	0, 86	"
Styehead-Cumberland (maximum en Europe) . . . . .	4, 72	"
Bergen (Norvège) . . . . .	2, 65	"
Calcutta . . . . .	1, 20	"
Cherra Ponjée, au pied de l'Hi- malaya. . . . .	14	"

On estime à 122 500 kilomètres cubes, la quantité de précipitations atmosphériques qui tombent chaque année sur la superficie continentale de notre globe, évaluée elle-même à 145 millions de kilomètres carrés.

**Composition chimique des eaux de pluie et de la neige.** — En circulant dans l'atmosphère le courant de vapeur d'eau se mélange aux corps gazeux, liquides et solides qu'il rencontre, et en se précipitant en pluie ou neige, il les entraîne à l'état dissous.

L'analyse d'une eau de pluie a donné à Pélignot les teneurs suivantes en corps étrangers, par kilogramme :

Azote, 23 centimètres cubes ou 65,66 pour cent en volume.

Oxygène, 7<sup>cm<sup>3</sup></sup>,4 ou 32,15 pour cent en volume.

Acide carbonique, 0<sup>cm<sup>3</sup></sup>,5 ou 2,19 pour cent en volume.

Sous l'influence de certaines causes, d'origine électrique principalement, ces corps étrangers à l'eau réagissent entre eux et avec l'eau pour donner naissance à des composés très variés que l'eau météorique entraînera et répandra sur le sol.

Villon a trouvé, par kilogramme d'eau de pluie ou de neige, les teneurs suivantes :

Produits	Pluie	Neige
	centim. cubes	centim. cubes
Oxygène . . . . .	8,52 à 7,75	//
Azote . . . . .	16,40 à 16,80	//
Acide carbonique . . . .	0,42 à 0,60	//
Ammoniaque . . . . .	0,004 à 0,016	0,00017
Acide nitrique . . . . .	0,001 à 0,0003	//
Carbonate d'ammoniaque.	0,00174	0,00129
Nitrate d'ammoniaque. .	0,00189	0,00145
Chlorure de sodium . . .	//	0,01704
Sulfate de sodium . . . .	0,0107	0,01563
Sulfate de calcium . . . .	0,00087	0,00088
Composés organiques . .	0,02486	0,02385

Les eaux météoriques renferment donc une série de composés chimiques capables de réagir sur les matériaux du sol.

## CHAPITRE II

### HYDROLOGIE SUPERFICIELLE

L'eau météorique, qu'elle provienne de la pluie ou de la fonte des neiges, se divise sur le sol en trois parties, dont l'une disparaît par évaporation, la seconde fuit par ruissellement et la troisième par absorption par le sol.

**Évaporation.** — L'intensité du phénomène d'évaporation dépend de la température du sol et de la constitution physique de ce dernier. Plus la terre est chaude, plus la proportion d'eau évaporée est importante et c'est pourquoi, dans la zone tempérée, les pluies estivales sont sans profit. Si, par sa nature, le sol ne retient pas mécaniquement l'eau à sa surface comme c'est le cas dans les régions arides et incultes, l'évaporation sera grandement facilitée.

Les prairies, les forêts, par l'entrelacement de leurs pousses obligent les gouttelettes d'eau à circuler dans un circuit complexe de parois refroidies ; elles s'opposent à l'évaporation et en prolongent la durée.

On estime que, dans le bassin de la Seine, l'évaporation enlève les trois quarts des pluies tombées.

S. J. Murray a calculé que, sur le volume annuel de pluie tombée, soit 122 500 kilomètres cubes, 27 200 sont restitués aux Océans par les cours d'eau et que la différence entre ces deux nombres, soit 95 300 kilomètres cubes, représente le volume d'eau de pluie évaporée chaque année et qui ne cesse d'osciller entre le sol et les nuages.

**Ruissellement.** — La seconde fraction des eaux ruisselle à la surface ; nous assistons à sa marche par étapes jusqu'à l'Océan, et aux modifications qu'elle imprime au sol qui l'a reçue.

La proportion d'eau qui s'écoule en ruisselant dépend de la perméabilité du sol, c'est-à-dire de la faculté qu'il possède à un degré plus ou moins grand d'absorber l'eau, — et de sa configuration.

Si le sol est imperméable, toute l'eau non évaporée s'en ira par ruissellement, plus ou ou moins vite suivant la pente du terrain.

Si le sol est très perméable, une partie de l'eau seulement s'en ira par ruissellement et d'autant plus grande que la pente du sol sera plus rapide. Si la pente est suffisante, l'absorption sera à peu près nulle.

Notons en passant que si le sol est cultivé et contient beaucoup de petites racines, l'eau sera

absorbée sans secousses et s'infiltrera profondément, provoquant un régime régulier d'eaux souterraines ; qu'au contraire, si le sol ne renferme que des racines grêles et rares, la pluie détériorera la surface et produira un régime irrégulier d'eaux souterraines. Les modifications au régime des eaux souterraines consécutives au déboisement n'ont pas d'autre cause.

En s'écoulant sur le sol, les eaux font un travail d'érosion, insignifiant si la surface est recouverte de prairies, de cultures serrées, plus ou moins destructeur dans le cas contraire.

En dévalant le long des pentes, les ruisselets d'eau affouillent le sol, le ravinent, le dénudent en entraînant les terres.

L'affouillement dégagera du sol des blocs de rochers qui sembleront sortir des profondeurs, et ne reposeront bientôt plus que par quelques points, tout prêts qu'ils seront à être précipités dans la vallée si la pente est suffisante. C'est l'origine d'une catégorie de *pierres branlantes*.

Les terres qui les entouraient ont été entraînées et s'amassent au pied de la côte, dans la vallée, où elles sont rejointes par celles que l'eau désagrège en creusant dans le sol les mille petits lits qui sillonnent les flancs des montagnes.

Ce n'est pas seulement sur le sol meuble que le ruissellement a une action érosive, mais aussi

sur les rochers, ceux de nature calcaire principalement. Un travail d'usure de la roche s'accomplit découpant des formes bizarres : les rochers de Montpellier-le-Vieux en sont un des exemples les plus frappants.

Nous avons examiné les effets du ruissellement sur un terrain en pente : si l'on considère le cas d'un plateau, d'une plaine, les phénomènes d'érosion sont insignifiants et suivant la perméabilité du sol, l'eau séjournera en flaques qui s'écouleront peu à peu, ou formera des marécages.

Après avoir descendu les pentes rapides qui délimitent la vallée, les ruisselets déposent à l'entrée de la plaine des cônes de déjection faits des matériaux enlevés au sol ; de là, ils gagnent le *thalweg* de la vallée et se jettent dans la rivière permanente.

Le travail d'érosion des eaux n'est pas terminé et désormais c'est la rivière, le fleuve qui l'accomplira au détriment du fond, des berges du lit.

Sous l'influence du mouvement de la masse d'eau, le lit subira des remaniements, et même il se creusera si la vitesse du courant est suffisante ; les particules les plus légères seront d'abord entraînées, puis, quand la rivière coulera en torrent, les débris rocheux seront emportés. Le tableau ci-après, établi par Sganzin, in-



dique la vitesse minima pour l'affouillement du lit d'une rivière suivant la nature du fond :

Nature du fond	Vitesse de l'eau en mètres par seconde
Terre détrempée . . . . .	0 <sup>m</sup> , 075
Argile . . . . .	0, 152
Limon . . . . .	0, 200
Sable . . . . .	0, 305
Gravier . . . . .	0, 609
Cailloux . . . . .	0, 614
Pierres concassées . . . . .	1, 220
Poudingues, schistes argileux . . . . .	1, 520
Roches stratifiées . . . . .	1, 830
Roches dures . . . . .	3, 050

Une rivière au cours rapide coulant sur un fond de roches tendres, telles que le calcaire, creuse un lit quelquefois si profond qu'il devient une sorte de vallée. Les canons du Colorado, la vallée de la Valserine à Bellegarde, de l'Alzou à Rocamadour n'ont pas d'autre origine.

Les berges sont également travaillées par les eaux courantes ; affouillées à leur pied, elles s'écroulent par tranches successives en donnant à la coupe du lit la forme d'un V qui se maintiendra toujours ; l'ouverture du V dépend de la nature des terres des berges, la pente de chaque branche correspondant au talus naturel d'éboulement. Sous l'action des eaux pluviales, des

tranches s'abattent, et l'angle du V augmente à chaque éboulement.

**Torrents et Rivières.** — Généralement, une rivière débute par être elle-même un torrent ; souvent aussi elle est formée par la réunion de plusieurs de ces derniers avant de recevoir l'apport d'affluents proprement dits.

A l'origine, on trouve le *bassin d'amont* ou *de réception*, sorte de ravin, de *combe*, produit d'un creusement opéré par les eaux pluviales. Les flancs dénudés par les eaux de ruissellement sont entraînés jusqu'à ce que celles-ci trouvent sous elles des couches suffisamment résistantes à l'érosion.

Si le sol est plus ou moins meuble, le ravin s'élargit et se transforme en un cirque, un entonnoir ; les terres entraînées sont étalées au fond, et l'érosion continuera jusqu'à ce que des couches dures succèdent aux couches désagréables.

Les choses se passent différemment si le sol est plastique et tendre : les eaux s'écouleront en plusieurs directions et se réuniront au thalweg de la vallée principale. Le sol est doucement vallonné et les sources présentent l'aspect d'une patte d'oie.

Le *bassin d'aval* ou *d'absorption* fait suite au premier et leurs régimes sont intimement liés.

Il est fréquent, qu'à leur origine, les rivières

des pays de montagnes aient une pente supérieure à 2,5 pour 1 000, correspondant à une vitesse de 2 à 3 mètres par seconde.

Elles sont dites *torrentielles* lorsque la pente est d'au moins 1 pour 1 000 soit de 3'26".

La Durance, qui est un type de cette catégorie, présente une pente de 2 pour 1 000 soit 7'19".

La Seine a une pente, à Paris, de 1 pour 10 000, soit de 20" et, à Conflans, de 8,7 pour 100 000 soit de 19".

Pour le Rhône, à Arles, on trouve 4,75 pour 100 000 soit 9" 3/4.

On peut calculer la vitesse d'une rivière par la formule :

$$V = 50 \sqrt{\alpha \rho},$$

$\alpha$  représente la pente par mètre et  $\rho$ , le rapport de la superficie de la section droite du cours d'eau au périmètre de la dite section.

La vitesse de l'eau est plus grande à la surface qu'au fond, à cause des frottements et la *vitesse moyenne*  $v$  d'un cours d'eau est :

$$v = \frac{4}{5} V' ; V' \text{ étant la vitesse à la surfacc.}$$

$$v = 2 V'' ; V'' \text{ étant la vitesse au fond.}$$

Voici la *vitesse moyenne* de quelques fleuves :

La Seine à Paris . . . .	0m,50	par seconde
Le Rhône en temps normal.	0, 45	"
Le Rhône en temps de crue.	4, 50	"
Le Rhin à Strasbourg . .	2, 30	"
Le Nil . . . . .	1, 50	"

Le lit normal d'une rivière est dit *lit mineur* par opposition à celui dit *lit majeur* qu'elle occupe supplémentaires en temps de crue.

Le débit d'un fleuve peut varier beaucoup en temps de crue ; ainsi, pour la Seine, il est en moyenne 35 à 40 fois et, pour la Loire alimentée par des rivières torrentielles, 400 fois le débit moyen à l'étiage.

**Transport des matières du fond.**— Quelle que soit la vitesse de son cours, une rivière dégrade toujours ses rives, et c'est aux points de changement de direction qu'apparaît surtout ce travail.

Matières transportées	Dimensions moyennes des éléments en m.	Vitesse maxima au fond en m. par sec.
Boue et terre fine détrempée.	0,003	0,06
Limon grossier . . . . .	0,0004	0,15
Sable très fin . . . . .	0,0003	0,15
Sable . . . . .	0,0005	0,20
Sable . . . . .	0,0007	0,23
Sable . . . . .	0,0008	0,25
Gravier . . . . .	0,0017	0,30
Gravier . . . . .	0,0025	0,60
Gravier . . . . .	0,0090	0,70
Roche tendre sphérique . .	0,04	1,20
// schisteuse sphérique . .	0,04	1,50 à 1,80
// dure sphérique . . . . .	0,04	3
Pierre plate . . . . .	0,05 × 0,003	1,80

La rivière creuse ses *berges concaves* et dépose les produits arrachés tant au fond qu'aux berges concaves, au pied des berges convexes. Là, la vitesse de l'eau est réduite, les remous se forment et les corps tenus en suspension se déposent sous forme de *presqu'îles*, de pointes doucement inclinées.

Le tableau de la page précédente indique la vitesse au fond à partir de laquelle les éléments sont entraînés.

---

## CHAPITRE III

---

### FORMATION DES COUCHES AQUIFÈRES

**Composition des terrains imperméables.**  
— Il n'existe pas de terrain imperméable d'une façon absolue, car, les roches les plus dures contiennent toujours une certaine quantité d'eau dite *eau de carrière*. Mais, au point de vue qui nous intéresse, nous considérons comme imperméables les roches ou terres qui ne se laissent traverser par les eaux qu'après un temps assez long.

Nous admettrons donc comme imperméables les éléments suivants :

Micaschiste, gneiss, granite, granulite, porphyre, orthophyre, protogine, diorite, syénite, kersantite, minette, andésite compacte, quartzite, dolomie, calcaire saccharoïde, calcaire silurien, dévonien, houiller, craie glauconieuse, certains grès à grain très-fin, certains schistes phyllades et autres.

Mais pour autant, bien entendu, que les bancs ne sont pas fissurés, coupés par des diaclases,

et que si, comme c'est le cas pour les calcaires, la roche est disposée en couches stratifiées, la stratification soit horizontale ou à peu près.

A ces roches, il convient d'ajouter les *marnes* et *argiles* et leurs diverses variétés imperméables à des degrés divers.

Les argiles contenant 25 à 40 pour cent de calcaire et qui sont d'une couleur foncée, les marnes de couleur grisâtre dosant de 50 à 70 pour cent de calcaire, sont à peu près imperméables, comme aussi les marnes magnésiennes renfermant de 15 à 30 pour cent de carbonate de magnésie. Ces dernières, d'une couleur verdâtre se reconnaissent à la teinte laiteuse que prennent les eaux qui séjournent à leur surface.

Mais si l'argile, au lieu de calcaire, contient du sable siliceux, elle sera perméable à un degré variable avec la teneur en silice.

En résumé, on considérera comme pratiquement imperméables des couches renfermant l'un des éléments ou un mélange des éléments suivants :

Argile . . . . .	20
Calcaire impalpable . . . . .	20 à 80
Argile . . . . .	20
Silice impalpable . . . . .	30 à 120

surtout si elles ont une épaisseur de 40 à 50 centimètres.

On admet, en effet, qu'il faut à l'eau en moyenne 30 à 35 jours pour traverser une couche d'argile calcaire de 50 centimètres d'épaisseur, quand sa composition répond à celle indiquée ci-dessus. Dans les mêmes conditions, l'argile siliceuse est traversée après 10 à 15 jours.

**Flore des terrains imperméables.** — La flore varie avec l'humidité, c'est-à-dire, l'imperméabilité du sol, et sa connaissance permet de se faire une idée de la nature du terrain par le simple aspect des cultures.

(Voir le résumé de la p. 40).

**Absorption par le sol.** — C'est à l'eau qui pénètre dans le sol perméable et y circule de mille manières que l'on doit les sources ; les rivières tariraient en même temps que disparaîtrait la dernière goutte d'eau de ruissellement si les réservoirs internes ne venaient apporter leur contingent lent, mais à peu près continu.

Le liquide circule entre les éléments de la couche perméable et descend jusqu'à ce qu'il rencontre une couche imperméable qui l'arrête. Il suit alors la pente de cette dernière et vient au jour, en même temps qu'elle, sur le flanc d'un coteau, dans le fond d'une vallée, en donnant naissance à un suintement, à une source, suivant l'importance du débit.

La couche perméable dite aussi *couche aqui-*



*fière*, nappe d'infiltration, est donc un véritable réservoir d'eau et son remplissage s'est fait de façon différente suivant sa nature.

Par principe, elle est superposée à une couche imperméable; mais, la plupart du temps, elle ne formera pas la surface du sol et sera sous-jacente à une ou plusieurs couches qui devront être perméables, soit par leur nature, soit par leur constitution physique.

Par exemple, en suivant l'ordre descendant, le sol pourra être formé de :

*Terre arable;*

*Grès à gros grain;*

*Sable, couche aquifère;*

*Argile.*

Un banc de calcaire pourra être superposé à la couche aquifère et quand même il serait compact et à grain très fin, s'il montre un réseau de diaclases, l'eau le traversera pour atteindre la couche de sable et s'y accumuler.

L'expérience a prouvé que la couche aquifère reproduit, mais affaiblies, il est vrai, les ondulations extérieures du sol : elle chemine sous la terre jusqu'à ce qu'elle arrive au jour, à flanc de coteau dans une vallée d'érosion provenant d'une fracture du sol, en donnant naissance à un ruisseau qui descend dans la vallée par une cascade. Si elle débouche au fond d'une vallée, elle provoque la formation de parties

humides du sol tout autour de la source qui s'écoule suivant la ligne de thalweg; elle peut ainsi être l'origine de marécages, de tourbières.

Si les versants de la vallée sont franchement perméables, les côtes seront sèches, arides, tandis que le fond sera frais et couvert de végétation.

Dans certains cas, et bien que la couche aquifère débouche franchement dans la vallée, la source se formera difficilement si l'eau est très chargée de matières incrustantes, carbonate de chaux, sel gemme. La surface du sol s'agglutine avec la matière incrustante et forme une sorte de couvercle s'opposant au passage du liquide.

**Nappes artésiennes.** — Lorsque la couche perméable affecte la forme d'une coupe à bords franchement relevés, l'eau ne peut s'écouler par pesanteur; elle s'accumule, et quand une nouvelle venue d'eau se produira, le trop-plein seul s'écoulera. Ces nappes portent le nom de *nappes artésiennes*, *nappes jaillissantes*.

**Imprégnation par imbibition.** — C'est le cas d'une couche de terre, ou de roche franchement poreuse; l'eau est absorbée comme par une éponge, et quand la couche est saturée, l'excès de liquide s'écoule.

La quantité d'eau correspondant à la saturation varie avec la nature de la couche et avec l'état de division de ses éléments.

Le tableau suivant résume nos connaissances à cet égard :

Désignation	Kilog. saturés	Par kilogramme d'eau
Terre calcaire. . . . .	100	40 à 85
Terre argileuse . . . . .	100	50-75
Terre tourbeuse. . . . .	100	75-90
Glaïse maigre. . . . .	100	40
Craie en fragments. . . . .	100	24
Craie pulvérisée. . . . .	100	41
Sable calcaire. . . . .	100	29
Schiste en fragments . . . . .	100	2,85
Schiste pulvérisé . . . . .	100	36
Gypse en fragments . . . . .	100	2,20
Gypse pulvérisé. . . . .	100	26
Schiste phyllade en fragm <sup>ts</sup> . . . . .	100	0,19
Schiste phyllade pulvérisé . . . . .	100	31
Sable siliceux. . . . .	100	25
Grès siliceux fin. . . . .	100	0,66
Granite en fragments. . . . .	100	0,06
Granite pulvérisé . . . . .	100	27
Marbre en fragments . . . . .	100	0,08
Marbre pulvérisé . . . . .	100	17
Terreau. . . . .	100	190

Il faut un certain temps pour que la couche devienne saturée et que la nappe liquide commence à se mouvoir.

**Imprégnation par remplissage des vides.** — Il est rare qu'une couche du sol jouisse, à l'exclusion du second, de l'un seulement des

modes d'imprégnation par *imbibition* ou par *remplissage des vides* : l'un est plus développé que l'autre et caractérise le mode d'action de la couche considérée.

Par remplissage des vides, on entend l'intercalation de l'eau entre les grains, les débris qui composent le sol.

La capacité par remplissage d'une couche dépend du diamètre des débris ; plus ceux-ci sont gros, plus l'espace libre que l'eau viendra occuper sera considérable.

Voici, à titre d'indication, la capacité d'imprégnation par remplissage des vides de quelques matières, rapportée au mètre cube.

Désignation	Litres d'eau
Sable fin . . . . .	175 à 280
Gravier de 10 millimètres . .	300 à 350
Cailloux de 6 centimètres . .	400
"    10    "    . .	475
Pierres de 15    "    . .	500

L'imprégnation par remplissage s'opère plus rapidement que par imbibition, et l'eau, ainsi emmagasinée par cette cause, s'écoule très facilement.

**Imprégnation par les diaclases.** — A quelque catégorie qu'appartiennent les roches, schistes sédimentaires, tufs, roches franches

d'origine sédimentaire ou ignée, les bancs sont fréquemment coupés par des cassures ou par des diaclases formant un réseau à mailles fines quelquefois visibles, souvent invisibles. Fréquemment, les cassures sont remplies de sable, de débris entraînés par les eaux.

Les fissures produites par les racines et les joints de stratification viennent aider à la circulation des eaux.

Ces cassures, ces diaclases, sont autant de canaux sinueux que l'eau suivra dans sa marche, et leur nombre est souvent si grand, que la roche est transformée en une couche franchement perméable.

**Composition des terrains perméables.**  
— En outre des couches franchement perméables par leur nature propre, les terrains comprennent souvent des couches rendues telles par des causes extérieures ayant amené leur désagrégation, la formation de fissures, de diaclases. Les grandes chaleurs, les pluies, la gelée, l'action des vents et des racines des plantes, concourent à ce résultat.

Parmi les roches perméables, citons :

Le calcaire jurassique, très peu perméable ;

Le calcaire crétacé, un peu perméable ;

Le calcaire tertiaire, très peu perméable ;

Le grès des Vosges, assez poreux ;

Le grès de Fontainebleau, très poreux.

Les roches suivantes doivent surtout leur porosité aux fissures et diaclases :

Basalte.

Calcaires en général.

**Flore des terrains perméables.** — On rencontre sur les terrains de cette nature une végétation fraîche, souvent abondante (voir le résumé de la p. 40).

**Rivières souterraines. Fontaines intermittentes.** — Lorsque les circonstances s'y prêtent, les eaux de surface coulant sur un sol calcaire attaquent les parties tendres, et si l'une de celles-ci se trouve sous un remous entraînant des graviers, elle se creusera petit à petit et donnera naissance à un *gouffre*, à un *aven* comme on en rencontre dans les Causses. L'action des eaux ascendantes est négligeable. Ces gouffres sont des puits à parois verticales souvent de grande profondeur.

L'eau travaillera de même, les parois du gouffre, s'infiltrera dans les fissures qu'elle élargira et formera une rivière souterraine débouchant quelque part, au flanc d'une vallée.

La plupart du temps, le débit des rivières souterraines est intermittent.

La *fontaine de Vaucluse* en est un exemple classique.

Lorsqu'une couche aquifère est recoupée par la galerie d'écoulement d'une de ces rivières

souterraines, l'eau suit ce chemin, et suivant le débit possible par cette galerie, le nombre et la puissance des couches alimentant cette rivière, les ondulations du lit dans le plan vertical, le nombre et l'importance des poches, — les captages dans la couche considérée auront ou non un débit intermittent.

**Direction de l'écoulement des eaux.** —

La tendance des eaux à s'écouler suivant une ligne perpendiculaire à la ligne de thalweg est influencée par la pente des couches toujours de même sens que celle de la vallée.

La direction d'écoulement naturel des eaux souterraines est donc oblique à la ligne de thalweg et à la ligne de faite, et si l'on considère une montagne, les choses se passent de la même manière de part et d'autre de la ligne de faite.

**Poches et seuils d'écoulement.** — Il résulte de la disposition en chapelet de la nappe d'infiltration que si l'on fore un puits au-dessus d'une poche, ce puits devra avoir une certaine profondeur pour atteindre le fond imperméable, mais donnera un large débit d'eau — et que si le puits est foré au-dessus d'un seuil ou partie étranglée, il sera peu profond, mais sera d'un faible débit.

Par suite, si l'on recherche l'économie au détriment du débit en eau, on captera au-dessus d'un seuil ; si, au contraire, on tient surtout à

un abondant débit d'eau, le puits devra être placé au-dessus d'une poche.

Il se présente quelquefois que le fond imperméable rocheux soit fendillé principalement dans les seuils, dans ce cas, les puits doivent être faits au-dessus des poches à moins que l'on ne préfère forer plus bas jusqu'à la rencontre d'une autre couche aquifère.

**Niveau hydrostatique.** — Les diverses couches du globe, sur toute la profondeur, sont saturées d'eau, au-dessous d'un certain niveau dit *hydrostatique*. Ce niveau, auquel se tient la nappe générale d'imbibition, délimite l'épaisseur des couches liquides mobiles, et il résulte de l'équilibre établi entre l'infiltration des eaux météoriques et leur tendance à s'écouler vers la ligne de thalweg.

Par suite, ce niveau est variable d'un terrain à l'autre, et pour un même terrain d'un point à un autre suivant le degré de pente des couches.

En dessous du niveau hydrostatique, les eaux ont perdu toute action chimique sur les couches du sol, et leur pouvoir corrosif n'est pas renouvelé; au-dessus, les eaux constamment en mouvement et renouvelées sont des agents de corrosion, de dissolution, surtout d'oxydation des éléments et de dissolution, des carbonates qui descendent et s'accumulent dans le bas.



Au-dessus du niveau hydrostatique, les éléments des couches sont plus ou moins modifiés et ils forment ce que l'on appelle le *chapeau de fer*.

**Niveau de drainage.** — Ce niveau, qu'il ne faut pas confondre avec le précédent, est défini par la couche imperméable qui arrête complètement l'infiltration, le mouvement vertical des eaux descendantes.

**Profil d'une vallée suivant la perméabilité des versants.** — En temps de crue, la rivière déborde de son lit mineur pour entrer dans son lit majeur ; et si l'on considère la vitesse de l'eau aux différents points d'une droite perpendiculaire à la ligne de thalweg, on constate que cette vitesse est maxima et de valeur à peu près constante dans le lit mineur, pour décroître brusquement à la limite des deux lits et diminuer progressivement jusqu'à l'extrémité de la plaine inondée. Les vitesses sont réparties symétriquement à droite et à gauche de l'axe de la rivière si le sol est de même symétrique de part et d'autre de cet axe.

Il résulte de ce qui précède que les matériaux, charriés par les eaux et transportés dans le lit mineur, seront abandonnés dans le lit majeur et qu'ils se déposeront en presque totalité vers les berges, en formant un bourrelet, pour les boues et limons être déposés plus loin, là où les eaux sont calmes.

L'effet des crues sera de donner à la vallée un profil convexe, et d'amener la rivière, dans certains cas typiques, à couler au point le plus élevé.

*Une vallée, dont le profil transversal est convexe, a des versants perméables (fig. 1).*



Fig. 1. — Profil d'une vallée à versants perméables.

Si les versants sont imperméables, les eaux entraînent par ruissellement des matériaux qui modifieront le profil convexe de la vallée au point de lui substituer un profil concave.

De là, on déduit cette règle :

*Une vallée étroite, dont le profil transversal est concave, a des versants imperméables (fig. 2).*

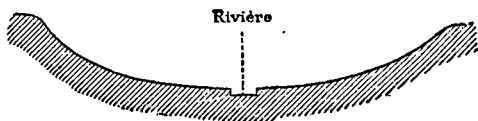


Fig. 2. — Profil d'une vallée à versants imperméables.

Lorsque, à la perméabilité des versants, s'ajoute la perméabilité du fond, la convexité du profil transversal de celui-ci entraîne les eaux au pied des versants où, encaissées d'un côté

par ces derniers et de l'autre par les dépôts convexes du lit majeur, elles s'écoulent en creusant un lit. Il en résulte, de chaque côté de la vallée, une fausse rivière qui rejoint plus bas le cours d'eau principal.

La loi suivante en découle :

*Une vallée, dont le profil transversal est convexe et porte de chaque côté le lit d'une fausse rivière, a ses versants et son fond perméables (fig. 3).*

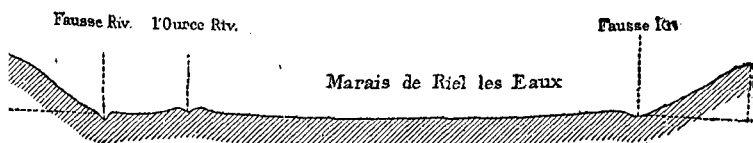


Fig. 3. — Profil d'une vallée large à versants perméables, montrant les lits de deux fausses rivières.

**Aspect d'une contrée d'après la composition du sol.** — Les agents atmosphériques : eaux de pluie, gelée, neige, aidés des eaux de ruissellement, en attaquant les roches, impriment au relief du sol un aspect caractéristique des éléments qui le composent.

Les régions granitiques sont faites de montagnes arrondies, de dômes.

Les porphyres donnent des lignes de faite dentelées, des cimes aiguës.

Des montagnes en forme de cloches sont l'indice de roches trachytiques.

Les grès impriment au sol des formes arrondies avec des parties saillantes en forme de cônes, tandis que sur les flancs des montagnes, on distingue des voussures produites par les érosions.

Les roches schisteuses cristallines ou sédimentaires ont souvent leurs strates redressées qui sortent de terre comme des murs et laissent surgir des aiguilles, de pics aigus.

Les régions calcaires présentent souvent une succession de plateaux séparés par des vallées étroites et aux flancs escarpés.

Un sol argileux est la plupart du temps doucement mamelonné, avec des pentes douces, au pied desquelles gisent des eaux stagnantes.



## CHAPITRE IV

### ACTION DES EAUX SUR LES COUCHES DU SOL

**Action physique des eaux sur les roches.** — Elle se traduit par des phénomènes d'érosion et de transport qui sont étudiés dans un chapitre précédent.

**Action chimique des eaux sur les roches.** — L'action chimique de l'eau pure sur les roches est à peu près négligeable et se réduit à des phénomènes d'hydratation et de dissolution de certains minéraux : L'anhydrite se transforme en gypse, le feldspath orthose en kaolin, le mica s'altère. Ces transformations s'opèrent avec augmentation du volume de l'élément attaqué, augmentation qui aide à la désagrégation de la roche.

Certains éléments entrent en dissolution, tels que les chlorures alcalins, de sodium, de potassium, le gypse ; ce qui explique les sources salées et les poches que l'on trouve fréquemment dans

les collines gypseuses, poches souvent accompagnées de plissements anormaux des couches encaissantes.

Mais, les phénomènes d'hydratation proprement dits ne s'effectuent bien avec l'eau pure qu'autant que la roche est soumise à des alternatives de sécheresse et d'humidité.

Bien plus énergique est l'action des eaux météoriques qui contiennent à l'état de dissolution, au moment où elles arrivent au sol, de l'acide carbonique, de l'acide nitrique, divers sels, corps susceptibles d'agir directement sur les éléments des roches, soit en les transformant en sels solubles, soit en aidant à leur décomposition par l'eau.

La roche sera d'autant plus énergiquement attaquée qu'elle sera soumise à des alternatives de sécheresse et d'action des eaux météoriques.

Les réactions chimiques qui se produisent sont très complexes et nous nous bornerons à indiquer les résultats produits sur les roches les plus répandues.

*Dissolution.* — La dissolution des chlorures alcalins s'effectue comme avec l'eau pure.

*Hydratation.* — L'eau météorique a un pouvoir hydratant supérieur à celui de l'eau pure et elle transforme rapidement l'anhydrite en gypse avec augmentation de volume d'environ 33 % : ce gonflement produit souvent des frac-

tures dans le terrain encaissant, et des bouleversements dans la stratification.

Les oxydes de fer se transforment en limonite.

*Oxydation.* — L'eau chargée d'air et d'acide carbonique exerce un pouvoir oxydant très énergique. Elle peroxyde les éléments ferrugineux des roches, transforme les pyrites en limonite et son action se fait sentir jusqu'au niveau hydrostatique.

*Action sur les silicates.* — Les feldspaths, surtout l'orthose, les pyroxènes et les amphiboles sont vigoureusement attaqués par les eaux météoriques. Il se forme des carbonates alcalins qui s'écoulent en dissolution et des carbonates alcalino-terreux et ferreux qui restent en place. La silice souvent est entraînée et, à la place du cristal de feldspath, on trouve du kaolin blanc et pâteux.

Le mica se change en chlorite verte, puis en une matière argileuse sans cohésion.

Sur les granites, la couche altérée peut atteindre 15 à 20 mètres d'épaisseur, et ces roches donnent comme produit final une *arène*, sable grossier, composé de débris de cristaux de feldspath et de grains de quartz.

Les roches à amphibole, à pyroxène, diorites et diabases, se recouvrent d'un enduit brun dû à la décomposition de ces éléments en carbonate ferreux.

Les basaltes, qui sont riches en pyroxène et souvent aussi en amphibole microscopique, sont enveloppés dans une croûte brunâtre, très friable, dont l'origine est la même que celle de la précédente.

Les gneiss et les micaschistes sont surtout altérés dans leur mica : aussi se transforment-ils en lits argileux sans cohésion.

*Action sur les calcaires.* — L'eau dissout le calcaire à raison de 1 partie de carbonate  $\frac{0}{100}$  de liquide, en même temps, elle peroxyde le fer que contient toujours cette roche. La limonite n'étant pas soluble reste en place, témoin de l'action des eaux.

Les parties les plus tendres de la roche sont d'abord attaquées, d'où formation de fissures qui aideront à la circulation de l'eau et de poches qui formeront autant de réservoirs où le liquide s'accumulera.

Les *lapiez* ou *rascles*, sortes de rigoles qui sillonnent les plateaux calcaires du massif du mont Ventoux et des Alpes, n'ont pas d'autre origine.

*Action sur les grès.* — Les grès à ciment calcaire sont désagrégés par la dissolution du carbonate, et il reste un sable quartzeux fin que les eaux entraînent ou laissent en place.

*Action sur les calcaires magnésiens.* — L'eau dissolvant le carbonate de chaux plus facilement



que le carbonate de magnésie, enlève le premier et donne naissance à une roche caverneuse dépourvue de plans de stratification.

*Action sur les schistes.* — Très rapidement, l'eau les transforme en une terre meuble, en argile plastique.

*Action sur les quartzites.* — La roche prend progressivement une teinte rouge vif, devient grenue, puis sa teinte s'éclaircit et elle devient friable.

*Action sur les terrains meubles.* — L'action de l'eau sur ces terres sera du même ordre que sur les roches, mais elle sera plus active, la surface d'attaque étant plus grande.

On y verra donc les mêmes phénomènes de dissolution, d'hydratation et de réactions chimiques, susceptibles de modifier la composition du sol au point de vue de la culture et de la cohésion des terres.

**Action de l'eau sur les minerais.** — Les eaux météoriques ont une action plus grande sur les minerais métalliques que sur les roches proprement dites, et cela se conçoit aisément.

Au contact de minerais sulfurés, pyrite de fer, par exemple, l'eau deviendra sulfurique et ferrugineuse.

La chalcopryrite, ou sulfure double de fer et de cuivre, la chargera de sulfate de cuivre.

La galène ou sulfure de plomb a une action très faible,

Les autres minerais, oxydes, carbonates, sulfates métalliques, sont toujours plus ou moins attaqués et donnent des sels solubles que les eaux entraînent.

Si, pour une cause quelconque, les eaux sont chaudes, l'attaque sera plus énergique et l'on aura une eau thermominérale, dont les éléments alcalins sont empruntés aux roches et les autres aux minerais, le gaz carbonique, souvent fort abondant, provenant soit d'une cause volcanique, soit de l'attaque de bancs calcaires par les acides de l'eau : acide sulfurique, acide nitrique, acide chlorhydrique.

#### FLORE SPÉCIFIQUE DES DIFFÉRENTS TERRAINS

**Terrains argileux.** — Tussilage pas-d'âne, laitue vireuse, sureau yèble, lotier corniculé, orobe tubéreux, agrostis traçant, chicorée sauvage.

**Terrains argilo-calcaires.** — Anthyllide vulnéraire, potentille anserine, potentille rampante, mélisse bleue, laitue vivace, sainfoin cultivé, chondrille joncée, frêne commun.

**Terrains calcaires.** — Brunelle à grandes fleurs, bromage, saxifrage, germandrée, petit chêne, gaude, potentille printanière, coquelicot, seslerie bleuâtre, chardon, globulaire commune, noisetier commun.

**Terrains sableux.** — Jasionne des montagnes, élyme des sables, statice des sables, laiche des sables, roseau des sables, fléole des sables, sabline pourpre, canche, fétuque rouge, drave printanière, oseille petite, agrostide, spergule des champs, réséda jaune, bouleau, pin maritime.

**Terrains submergés.** — Macre fétuque flottante, laiches, scirpes, souchets, nénuphar, roseau à balai, fléchières, plantain d'eau, menthe poivrée, épilobes.

**Terrains humides.** — Spirée hulmaire, menthe aquatique, joncs, laiches, prêle.

**Terrains imperméables.** — Seigle, sarrazin, avoine, millet, pomme de terre, ajonc, bruyère, chêne, pin, châtaignier.

**Terrains perméables.** — Mousses vertes, roseaux, joncs, aulne, hépatique, ciguë, sureau, yèble, véronique, cressonnière, chardon, ellébore, colchique, renoncule, scrofulaire, gentiane.

TABLEAU SYNOPTIQUE DES

<i>Système</i>	<i>Étage</i>	<i>Formations caractéristiques</i>
Quaternaire ou Pléistocène	Actuel  Diluvium	Alluvions modernes, tourbes de formations actuelles.  Cailloux roulés, sables, blocs erratiques, limon rouge.
Pliocène	Sicilien Astien Plaisancien	Dépôts lacustres, dépôts marins, dépôts coquilliers, sables, marnes.
Miocène	Pontien Sarmatien Tortonien Helvétien Burdigalien	Sables, fahluns, molasses, calcaires d'eau douce, calcaires à lignites, limons, marnes, couches à congéries, grès, sables.
Oligocène	Aquitainien  Stampien ou Tongrien Sannoisien	Calcaires, meulières de Montmorency, pépérites de la Limagne à Helix Ramon-li, grès, lignites supérieurs de Manosque.  Calcaires, meulières de la Brie, sables de Fontainebleau, arkoses de la Limagne, schistes à poissons, grès, gypse d'Aix.
Eocène	Ludien Bartonien Parisien  Suessonien Sparnacien Thanétien	Terrains nummulitiques, gypse parisien, calcaire de Champigny, calcaires marins, lignites, calcaire lacustre de Saint-Ouen, sables et grès de Beauchamps, calcaire grossier.  Argile plastique, argile à lignite, argile à pyrite, sables marins, calcaires lacustres, calcaires à milliolites, sables de Rilly.
Crétacé supérieur	Danien  Sénonien	Marne, calcaire pisolithique de Meudon, calcaire de Montceau, calcaire lithographique de Buxia.  Calcaires du Cotentin, craie de Meudon, de Reims, d'Épernay, craie à silex de Touraine, calcaires à Rudistes, lignites, grès d'Alet,

PÉRIODES GÉOLOGIQUES

<i>Fossiles caractéristiques</i>	<i>Concordance des formations éruptives</i>
Hommes et animaux actuels. Ossements de grands animaux, fossiles d'eau douce.	Laves volcaniques des éruptions actuelles. Volcans à cratères d'Auvergne. Volcans latins.
Fossiles d'eau douce.	Basaltes, andésites, phonolithes, trachytes, cinérites, ryolithes. Éruptions d'Auvergne.
Fossiles d'eau douce.	Éruptions volcaniques d'Auvergne, basaltes, ryolithes, andésites.
Fossiles d'eau douce.  Fossiles d'eau douce. Fossiles marins.	Ryolithes et granulites.
Nummulites, fossiles d'eau douce, limnées, planorbes, milliolites, prédominances des gastéropodes et des acéphales.  Nummulites, milliolites, fossiles d'eau douce, gastéropodes et acéphales.	Ophites, enphotides, serpentes, granophyres, ryolithes et granulites.
Baculites, scaphites, radiolites.  Stegaster, micraster, anachytes, spherulites, moecéramus, hippurites. Rudistes dans les formations coralligènes.	Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites, porphyrites. Filons quartzeux métallifères.

TABLEAU SYNOPTIQUE DES

<i>Système</i>	<i>Étage</i>	<i>Formations caractéristiques</i>
Créacé supérieur (suite)	Sénonien	Bancs à hippurites, marnes grises, craie à micraster, craie de Vervins, grès à micraster.
	Turonien	Craie marneuse, craie micacée, tuffeau, marnes, calcaire à hippurites.
	Cénomannien	Craie glauconieuse, gaize du Bray, marnes à ostracées, sables et grès du Maine et du Perche, calcaires divers, calcaires à lignites.
Créacé inférieur	Albien	Sables, sables glauconieux, calcaires, argile du gault, grès verts, gaize.
	Aptien	Sables, calcaires, marnes, argiles.
	Barrémien	Marnes, calcaires, calcaire jaune, calcaire à Spatangus, marne à Spatangus, grès.
	Néocomien	Limonite, calcaire roux, marnes, marnes à ammonites ferrugineuses, sable et minerai géodique, calcaire blanc, marne noire à ossements de tortue.
Jurassique supérieur	Portlandien	Calcaires d'eau douce, calcaire à ciment de la Porte de France, calcaire du Barrois, calcaire lithographique supérieur, argile, sables calcaires de Bray, dolomie portlandienne.
	Kimméridgien	Lumachelles, marnes de la Hève, grès, calcaires, calcaires marneux, calcaires à silex, calcaire des Alpes.
	Séquanien	Sables, calcaires siliceux, calcaires polypiers, argile, calcaire marneux, oolithe de Tonnerre, de Chateaufort, Saint-Mihiel, Lérouville, calcaire lithographique inférieur, calcaire des Alpes.

PÉRIODES GÉOLOGIQUES (*suite*)

<i>Fossiles caractéristiques</i>	<i>Concordance des formations éruptives</i>
<p>Inoceramus, hippurites, rynchonella, echynocoanus, holaster.</p> <p>Turrulites, scaphites, ammonites, rothomagensis, radiolites.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites, porphyrites.</p> <p>Filons quartzeux, métallifères.</p>
<p>Hamites, turrulites, ammonites mammillaria, céphalopodes déroulés, scaphites.</p> <p>Plicatules.</p> <p>Fossiles d'eau douce, cypris, lima.</p> <p>Belemnites dilatata, natices, pseudocidaris, tortues.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites, porphyrites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères.</p>
<p>Cyrènes, ostrea expansa, néri-nées, ammonites gigans.</p> <p>Exogyra virgula, gryphaea virgula, astarte minima.</p> <p>Ostrea deltoïda, polypiers, astartes, diceras, cardioceras.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères</p>

TABLEAU SYNOPTIQUE DES

<i>Système</i>	<i>Étage</i>	<i>Formations caractéristiques</i>
Jurassique supérieur (suite)	Oxfordien	Oolite, calcaires, argiles, marnes, calcaire à polypiers, à chailles, calcaire marneux de Grenoble, calcaire à ciment.
	Callovien	Marnes de Dives, oolithe ferrugineuse, gaize des Ardennes, argile de l'Argonne et de la Woëvre, marnes à ammonites pyriteuses, minerai de Poix, calcaire de Pougues, lumachelle à <i>Waldehia</i> , dalle naquée du Jura, schistes et marnes à <i>Posidonia Dalmasi</i> .
Jurassique moyen	Bathonien	Dalle naquée de Franche-Comté, Grande oolithe, calcaire marneux, marnes de Vesoul, oolithe ferrugineuse, oolithe miliare, sables, lignites, calcaires, oolithe, calcaire gris à spongiaires, calcaire à lumachelle, calcaire de Comblanchien, oolithe miliare, dolomie des Causes, calcaire marneux et lignites de l'Avoyron, schistes marneux, schistes noirs, couches alpines à <i>Posidonia</i> .
	Bajocien	Calcaires à polypiers, à entroques, marnes, calcaires marneux, oolithe blanche, oolithe ferrugineuse de Bayeux, calcaires dolomitiques à rognons de silex, calcaire bleu et schistes bleus de Digne.
Jurassique inférieur	Toarcien	Calcaires rouges à ammonites et marnes alpins, minerai de Marbache, limonites de Longwy, calcaires, marnes, argiles, ciment de Wassy, grès et minerai à <i>Opalinus</i> , couches à poisson, minerai de la Verpillière, marnes à <i>Posidonia</i> .
	Charmouthien	Calcaire à pygope des Alpes, calcaire ferrugineux, sableux, marnes, argiles, marnes micacées, ciment de Pouilly, calcaire à belemnites, marnes à <i>Gryphaea regularis</i> .



## PÉRIODES GÉOLOGIQUES (suite)

<i>Fossiles caractéristiques</i>	<i>Concordance des formations éruptives</i>
<p>Polypiers, spongiaires, ammonites pyriteuses, ostrea Marshii, ammonites Jason.</p> <p>Waldehia, oppelia Rengeri, posidonia Dalmasi.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères.</p>
<p>Ammonites humphresianus, ammonites margaritatus, encrines, ostrea acuminate, clypeus, spongiaires, posidonia, oursins.</p> <p>Ammonites, ostrea, sphero-ceras, polypiers, encrines, oursins.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères.</p>
<p>Posidonies, ammonites, belemnites, rynchonella, petits brachiopodes, poissons,</p> <p>Pygope. Ammonites bifrons, ammonites margaritatus, waldehia, gryphea regularis, pecten, belemnites clavatus.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères.</p>

TABLEAU SYNOPTIQUE DES

<i>Système</i>	<i>Étage</i>	<i>Formations caractéristiques</i>
Jurassique inférieur (suite)	Sinemurien	Calcaire sableux, marne à chaux hydraulique, calcaire à gryphées arquées, grès à ammonites.
	Hettangien	Grès et conglomérats, lias blanc, calcaire foie de veau, à lumachelles, marnes, calcaire bleu à Planorbes, calcaire sableux.
	Rhétien	Grès dolomitique du Cotentin, ciment noir de Pouilly, grès et calcaires à avicula contorta, arkoses.
Trias	Keuper	Marnes irisées ou hariolées, marnes gypsifères, grès moyens, gites salifères, schistes lustrés, cargneules, dolomies et gypses des Alpes.
	Muschelkalk	Dolomie, calcaire à cératites, entroques, calcaires du Briançonnais, gypses et cargneules inférieurs.
	Grès bigarré	Grès vosgiens, grès quartzite de la Maurienne et de la Tarentaise, grès, marnes, calcaires à cératites.
Permien	Thuringien	Dolomie, conglomérats, tufs et grès rouges supérieurs des Vosges, grès rouges du Bourbonnais.
	Saxonien	Tufs, argiles, grès rouges moyens des Vosges, mélaphyres des Vosges, grès rouges de Blanzky et du Creusot.
	Autunien	Schistes carburés Autunois, grès à Walchia, grès rouges inférieurs, schistes poissons, conglomérats.
Carbonifère	Stéphanien	Faisceau de Commentry, Decazeville, Saint-Etienne, Grand Combe, Rive-de-Gier, Bossèges, bassins de Limper, Plogoff.

## PÉRIODES GÉOLOGIQUES (suite)

<i>Fossiles caractéristiques</i>	<i>Concordance des formations éruptives</i>
<p>Gryphæa arquata, arietites bisulcatus, lima giganteum, harpoceras, ægoceras, pentacrinites.</p> <p>Ammonites planorbis, ostrea, belemnites, cardinia, avicula.</p> <p>Avicula contorta, microlestes, cardinia.</p>	<p>Épanchements peu importants de roches basiques, diabases, syénites.</p> <p>Filons quartzeux métallifères.</p>
<p>Mollusques rares, végétaux nombreux, débris de poissons, cératites, enerines.</p> <p>Arietites, ammonites, cératites, enerines.</p> <p>Ammonites, cératites, voltzia, enerines.</p>	<p>Euphotides, ophites, spilites, diorites et porphyre augitique des Alpes. Injections siliceuses, émissions cuivreuses.</p>
<p>Productus, spirifer, schizodus.</p> <p>Même faune que ci-dessus.</p> <p>Paleoniscus Blainvillei, protron, petrolei, algues, walchia.</p>	<p>Principaux épanchements de porphyres, de porphyrites, de felsophyres, de mélaphyres. Fin des émissions des granites.</p>
<p>Productus, spirifer, foraminifères, mollusques, polypiers, vertébrés. Flore abondante.</p>	<p>Principaux épanchements de granulites, de porphyres, de porphyrites. Fin des émissions des granites.</p>

TABLEAU SYNOPTIQUE DES

<i>Système</i>	<i>Étage</i>	<i>Formations caractéristiques</i>
Carbonifère (suite)	Westphalien	Faisceau de Bully-Grenay, Flemmons, charbon gras, demi-gras, maigre. Ampélite, schistes. Bassin de Fommoreau.
	Culm	Calcaire, dolomie de Dinan, calcaire à erinoïde, calcschistes, grès anthracifères, tufs orthophyriques du Morvan et du Plateau Central, grauwaëke, tufs de Huelgoat, schistes de Châteaulin, calcaire de Sablé, grès et poudingues à anthracite de Monzeils, de Ferré.
Dévonien	Faménien	Calcaires, schistes, psammites, calcaires noirs, calcaires marmoréens, marbres des Pyrénées.
	Eiffelien	Calcaires, schistes, cornes, grauwaëkes.
	Rhénan	Poudingues, grès, grauwaëkes, schistes, arkoses, calcaires, quartzites.
Silurien	Gothlandien	Schistes à nodules, calcaires, ampélites, grès, phanites, schistes, quartzites.
	Ordovicien	Schistes, grès, calcaires, minerais de fer, grauwaëkes, dalles, schistes carburés, ardoises.
	Cambrien	Arkoses, schistes rouges, calcaires, poudingues pourprés, quartzites, ardoises. Phyllades de Fumay, ardoises.
Primitif	Huronien	Porphyres.
	Archéen	Micaschiste, gneiss.

PÉRIODES GÉOLOGIQUES (*fin*).

<i>Fossiles caractéristiques</i>	<i>Concordance des formations éruptives</i>
<p>Productus, spirifer, foraminifères, mollusques, polypiers, vertébrés. Flore abondante.</p> <p>Productus, spirifer, foraminifères, mollusques, polypiers, vertébrés, Flore abondante.</p>	<p>Principaux épanchements de granulites, de porphyres, de porphyrites, d'ortophyres. Fin des émissions des granites.</p>
<p>Peu de fossiles, cypridines.</p> <p>Peu de fossiles, stringocéphales.</p> <p>Peu de fossiles, spirifer-orthis.</p>	<p>Porphyrites, granulites, diabases, diorites, syénites, granulites, granites. Filons d'étain.</p>
<p>Cardiola, graptolites, trimules, trilobites.</p> <p>Graptolites, trimules, calymènes, cératopyges, trilobites.</p> <p>Trilobites, enerines, vers, annélides.</p>	<p>Porphyrites, diabases, diorites, syénites, granulites, granites.</p>
<p>Pas de fossiles.</p> <p>Pas de fossiles.</p>	<p>Granites, diabases, porphyrites, granophyres, felsophyres, porphyres, porphyrites. Emissions cuivreuses.</p>



## DEUXIÈME PARTIE

---

### CHAPITRE PREMIER

---

#### CONSIDÉRATIONS STRATIGRAPHIQUES

La recherche des sources et leur captage impliquant des connaissances de géologie et de stratigraphie, nous allons rappeler rapidement la signification de certains termes que l'on rencontrera au cours de cet ouvrage et les déductions pratiques à tirer de certains faits acquis.

*Roches ignées.* — Ce sont les roches arrivées à l'état pâteux ; leur dépôt s'est effectué en amas de forme indécise.

Parmi elles, citons : granite, granulite, pegmatite, porphyre, felsophyre, syénite, minette, kersantite, diorite, trachyte, andésite, diabases, variolite, spilite, mélaphyre, basaltes, leptynite, serpentine, micaschiste, gneiss.

*Roches sédimentaires.* — Elles se sont déposées au fond des eaux douces ou marines. Leur surface est ou a dû être à peu près plane et ho-

rizontale. Généralement, la masse de roche est subdivisée en feuillets plus ou moins épais qui sont parallèles à leur surface supérieure. La ligne de démarcation des feuillets s'appelle plan de stratification d'où l'on a donné souvent à ces roches le nom de roches stratifiées.

*Roches métamorphiques.* — Ce sont des roches provenant de la transformation de dépôts antérieurs sous l'action d'agents chimiques, physiques.

Les schistes proviennent d'argiles déposées par les eaux, les marbres de calcaire.

*Age des roches éruptives.* — Les produits ignés n'ont pas conservé dans le temps une composition constante. Ainsi les granites ne viennent plus au jour à notre époque et la composition des laves volcaniques actuelles n'est pas la même que celle des volcans préhistoriques.

Le tableau des *Périodes géologiques* (p. 42 à 51) indique l'âge des principales roches.

*Vallées d'érosion.* — Le passage d'un glacier ou d'un torrent charriant des éboulis entame le sol d'une plaine ou d'un plateau, il coupe une chaîne de montagnes pour se creuser un passage. Il en résulte un chenal, un couloir qui, de nos jours, est très souvent suivi par un cours d'eau.

Les deux versants de la vallée présentent la même composition géologique et l'on retrouve à



droite et à gauche, à la même hauteur, les mêmes bancs de roche, couches d'argile, de calcaire ou autre.

**Vallées de plissement.** — Par suite du refroidissement du globe, l'écorce s'est ridée, plissée : la chaîne des Alpes, notamment, a été formée de cette manière. Les parties basses des plissements sont autant de vallées.

Les couches du sol, roches ou autres, ont été plissées, incurvées ; elles descendent d'un versant, passent sous la vallée et remontent sous l'autre versant.

**Pli anticlinal.** — Un plissement *convexe* du sol est dit anticlinal.

**Pli synclinal.** — C'est la partie *concave* d'un plissement.

Un pli synclinal est donc toujours intercalé entre deux plis anticlinaux.

**Vallée anticlinale.** — On désigne ainsi une vallée taillée dans un pli anticlinal parallèlement à l'axe du pli. Les couches plongent à droite et à gauche.

Cette vallée peut avoir été produite par *érosion* ou par fracture du sol lors de la formation du pli.

**Vallée synclinale.** — Ce n'est autre que le fond d'un pli synclinal. Les couches se relèvent à droite et à gauche.

**Stratification.** — Plusieurs roches sédimentaires sont en stratification *concordante* quand leurs plans de stratification sont parallèles entre eux. Elles sont en stratification *discordante*, dans le cas contraire ; l'angle des plans de stratification peut atteindre 90°.

**Failles.** — Lors des plissements ou autres mouvements du sol, il s'est produit des cassures dans la masse, qui s'étendent à de très grandes profondeurs.

Ces cassures s'appellent *failles*, et les bords des deux morceaux du sol fracturé sont les *lèvres* de la faille.

Souvent l'une des lèvres s'est abaissée ou relevée par rapport à l'autre ; l'un des morceaux, ou les deux, ont pivoté sur eux-mêmes, et les deux lèvres ne sont plus au même niveau, ne sont plus parallèles : c'est le cas général. On dit alors qu'il y a eu *rejet* de la faille.

L'intérieur de la faille est souvent rempli par une nouvelle roche ignée qui s'est fait jour par cette voie, par des dépôts métallifères, par des matières entraînées par les eaux. Quelquefois une partie de la faille est restée libre et les eaux y circulent en prenant une température élevée due à la profondeur à laquelle le liquide peut pénétrer par cette voie à l'intérieur du globe.

Toutes les eaux thermales d'origine non volcaniques sortent de failles.

Souvent on désigne les failles sous le nom de *paraclyse*.

Dans une région, les failles présentent presque toujours certaines directions fixes, de telle sorte qu'elles peuvent être réparties en un certain nombre de réseaux et que dans chacun d'eux elles sont parallèles entre elles.

La connaissance des failles et de leur direction est très importante au point de vue qui nous intéresse.

**Diaclases.** — On désigne ainsi des fissures quelquefois visibles, souvent invisibles qui affectent toutes les roches. Comme les failles, les diaclases sont réparties dans un banc suivant certaines directions fixes et forment autant de passages qui aideront à la circulation des eaux souterraines.

**Age d'une couche par les fossiles.** — Certains fossiles sont caractéristiques d'une époque géologique; d'autres se rencontrent au cours de plusieurs époques successives.

On trouvera, dans le tableau des périodes géologiques (p. 42 à 51), l'indication des fossiles qui permettent de déterminer l'âge d'une couche.

Les fossiles ne se trouvent pas normalement dans les roches ignées.

**Age relatif des couches.** — Une couche est plus récente que celle qui lui est sous-jacente et plus ancienne que celle qui lui est super-

posée pour autant que leur ordre de superposition n'ait pas été modifié par des bouleversements du sol.

Dans une région déterminée, deux couches de même nature et renfermant les mêmes fossiles sont contemporaines et appartiennent par suite au même étage géologique.

---

## CHAPITRE II

### ALLURE DES NAPPES D'INFILTRATION

Le versant d'une vallée peut contenir plusieurs nappes d'infiltration séparées par des couches plus ou moins imperméables et débouchant les unes sur le versant, les autres dans la vallée. Parmi ces nappes, plusieurs peuvent être inutilisables par suite de leur faible débit.

**Allure des nappes d'infiltration.** — Nous avons vu que le profil de la nappe d'infiltration reproduit à peu près celui du relief extérieur ; par contre, il reproduit exactement celui de l'enveloppe imperméable qui la contient. Il en résulte que la nappe contient des parties étranglées à côté de parties dilatées formant de véritables poches à eau.

L'allure de la nappe varie avec sa nature et nous allons examiner les trois cas principaux que l'on rencontre.

**Couche aquifère sableuse.** — C'est le cas le plus simple : la couche aquifère est formée de sable et est enfermée entre une couche d'ar-

gile, dessous, par exemple, et la terre végétale au-dessus.

**Couche aquifère gréseuse.** — L'eau météorique agissant, tant par voie chimique que par voie mécanique, attaque le grès aux parties tendres, dissout le ciment calcaire et provoque la formation d'une fissure par laquelle elle s'infiltré dans la roche. Le sable isolé de son ciment est entraîné et s'accumule à la partie inférieure, au contact de la couche imperméable sous-jacente.

L'action de l'eau persistant, des infiltrations se produisent entre le banc de grès et le plancher imperméable et l'eau chemine dans la direction de la pente de cette dernière ; mais, en même temps, elle attaque le banc de grès par dessous en dissolvant le ciment calcaire, et le sable fin, divisé, s'accumule sur le fond imperméable.

Après un temps assez long, le grès sera fissuré en tous sens, des poches vides ou remplies se rencontreront le long des fissures et la roche reposera sur un lit de sable fin, intercalé entre elle et le fond imperméable.

**Couche aquifère calcaire.** — L'action de l'eau sera analogue à celle que nous venons d'indiquer ; passant au travers des diaclases qu'elle élargira, elle minera le banc de calcaire par-dessous, et des blocs se détacheront qui tomberont

sur le fond imperméable. Les terres de la surface et autres matériaux arrachés au sol et à la roche descendront par les fissures et combleront le vide, remplaçant la nappe liquide par une couche aquifère.

Souvent les bancs de calcaire renferment des poches vides d'énorme capacité, qui emprisonnèrent jadis des gaz. Quand ces poches sont sur le trajet de l'eau, elles se remplissent et jouent le rôle de régulateur de l'écoulement, l'empêchant d'être brutal au début de la saison des pluies et le prolongeant au cours de la saison sèche.

Ainsi, au Havre, l'apport d'un hiver pluvieux peut mettre jusqu'à 30 mois à s'écouler.

---

## CHAPITRE III

---

### MÉTHODES DE RECHERCHE DES SOURCES

Les méthodes à employer résultent directement des phénomènes et observations exposés précédemment et elles n'en sont que la conséquence logique.

Nous allons considérer successivement les trois cas auxquels peuvent se ramener tous les autres :

Recherche des sources sur un versant.

Recherche des sources sur un plateau.

Recherche des sources dans une vallée.

Le prospecteur devra tout d'abord examiner la région au point de vue général car, de cette étude, il pourra recueillir des indices très précieux sur le point précis où ses recherches devront porter.

Il étudiera donc l'aspect général de la contrée qui lui indiquera la nature du soubassement : granite, calcaire, schistes. La flore lui fera reconnaître, tout au moins pour certains points, la composition du sous-sol et son degré de perméabilité.



L'aspect des versants lui indiquera leur degré de perméabilité, et s'il est des points où la végétation est particulièrement fraîche et vigoureuse, il en déduira la présence d'un point d'eau.

A ces observations sur le terrain, il ajoutera une étude de la carte du pays et à défaut de carte publiée, il dressera des coupes du sol suivant certaines directions. Sur chaque coupe, il figurera les différentes couches du sol dont il aura reconnu la composition en remontant les versants.

En opérant ainsi, il complète les indications de ses coupes géologiques par des observations sur le terrain.

#### **Recherche des sources sur un versant.**

— Si l'on a le choix entre les deux versants de la montagne, il sera préférable de s'attaquer à celui dont la pente est la plus douce, dans lequel, par conséquent, les eaux météoriques ont le temps de s'infiltrer et peuvent apporter leur contingent à la nappe qui circule dans les couches perméables.

**PREMIER CAS :** *Les strates affleurent sur le flanc du versant.* — Nous supposerons, tout d'abord, que le pendage des couches est dirigé vers la vallée.

Les couches imperméables qui supportent les nappes d'infiltration affleurant sur le versant, il faudra dégager chaque nappe pour en mesurer

la puissance, s'attaquer à la plus épaisse et forer le puits à son point d'affleurement.

Si, comme c'est souvent le cas, le versant est couvert d'éboulis, le puits pourra être placé un peu au-dessous de la nappe.

L'existence de ces diverses nappes, dans le cas présent, est généralement décelé par des suintements, au moins après les pluies, pour les couches les moins importantes.

L'eau de ces nappes affluent au pied du versant, on peut, dans certains cas, avoir intérêt à établir le puits au pied du versant, surtout si la couche d'éboulis est puissante et la pente raide.

Si le pendage était dirigé dans le sens opposé, la prise d'eau ne pourrait être faite que sur l'autre versant.

DEUXIÈME CAS : *La couche aquifère est plaquée sur le versant.* — Ce cas se présente dans les régions granitiques, porphyriques, et dans celles où des calcaires des premiers âges géologiques, dévonien, par exemple, forment le sous-bassement.

La couche aquifère suivra les ondulations du fond imperméable et l'on voit tout de suite que les eaux tendront à se réunir au pied de la montagne.

Pendant l'époque des pluies, des sources, des suintements se manifesteront au-dessus des parties relevées du fond et délimiteront les poches

au-dessus desquelles les forages devront être faits.

Pendant la saison sèche, ces sources et suintements signalés précédemment à flanc de coteau pourront disparaître pour ne laisser subsister que la source du pied.

*Utilisation des accidents de terrain.* — Les replis et ravins situés à flanc de coteau pourront être utilisés très avantageusement, et l'on fera le sondage à l'origine de la dépression, soit en amont, soit en aval, suivant que l'on aura la faculté ou non de creuser un puits profond.

Au cas où le ravin dirigé suivant la pente du versant descendrait jusqu'à la vallée, on pourra faire le forage à l'origine si l'on a des indices de la présence de l'eau en ce point. Au cas contraire, en forant à l'extrémité inférieure du ravin, au point de jonction avec la vallée, on aura la presque certitude d'atteindre une couche aquifère.

Si le ravin forme un pli synclinal parallèle à la vallée, les recherches seront faites au fond.

Les recherches se porteront de préférence au point de croisement de plusieurs ravins ou plis si cette particularité se présente.

**Recherche des sources sur un plateau.** — Les eaux météoriques s'écoulent de part et d'autre de la ligne de faite et s'infiltrent sur chacun des versants : le versant le plus en pente

en recèle le moins et les forages donneront d'autant plus d'eau qu'ils seront plus éloignés de la ligne de faite.

De même que dans le cas précédent, on utilisera les ravins, replis de terrain, croisement de plis. Autant qu'il sera possible, on forera dans les ravins synclinaux, et on négligera les dépressions anticlinales généralement situées au point le plus élevé, là où l'eau est en minime quantité.

#### **Recherche des sources dans les vallées.**

— La profondeur des puits sera plus grande que dans les autres cas, le terrain étant recouvert d'éboulis, de dépôts d'alluvions apportés tant par les eaux qui viennent des versants que par la rivière elle-même au moment des crues.

Il y aura à distinguer suivant la direction des couches des versants.

**PREMIER CAS : Vallée synclinale.** — Les couches des versants plongeant vers la vallée, les apports d'eau souterrains seront importants et ils seront accrus des eaux de ruissellement qui s'infiltreront dans le sol de la vallée.

Le forage devra donc être fait au point le plus bas de la vallée.

Généralement, le thalweg de la surface de la vallée, creusé dans le dépôt alluvionnaire qui forme le sol que nous foulons, ne coïncide pas avec le thalweg géologique qui est à la rencontre

des deux versants supposés prolongés en dessous du sol. C'est à ce dernier que se rendent les eaux souterraines infiltrées.

Dans d'autres cas, si la vallée est très large avec un sol très perméable, les eaux qui descendent de chaque versant se creusent un lit souterrain au pied de la pente, de telle sorte que la vallée a deux thalwegs souterrains (fig. 3).

La détermination de la position de ces thalwegs se fait assez facilement quand on connaît l'angle de pendage des strates des versants et la largeur de la vallée.

Soient  $\alpha$  et  $\beta$ , les angles de pendage des couches des versants, et les recherches se font du côté du versant  $\beta$ ;  $l$ , la largeur de la vallée du pied d'un versant à l'autre;  $x$ , la distance au pied du versant de pendage  $\beta$  de la projection sur le sol de la ligne de thalweg cherchée; cette projection marque l'orifice du forage.

On aura :

$$x \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \right) = l \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Ce thalweg souterrain est particulièrement accidenté et sa surface moutonnée présente une série de dépressions et de barrages: les puits établis sur les premières débiteront abondamment, tandis que ceux arrivant sur un barrage ne donneront qu'un débit réduit.

2° CAS : *Vallée anticlinale*. — Les versants ne feront pas écouler dans la direction de la vallée, l'eau des nappes d'infiltration qu'ils renferment : ils fourniront seulement des eaux de ruissellement qui s'infiltreront dans le sol de la vallée, jusqu'à la rencontre d'une couche imperméable.

Les recherches se porteront alors, suivant l'importance du débit dont on aura besoin, soit vers l'origine de la vallée, soit plus bas, en utilisant les replis du sol et les ravins que l'on peut rencontrer.

*Cas particuliers*. — La recherche de la source est simplifiée si l'on opère à l'origine de la vallée au point où elle se soude au bassin de réception : que ce dernier soit constitué par un ravin à bords escarpés ou par un cirque, c'est au point de jonction du ravin et de la vallée et vers l'axe du cirque que le forage sera placé.

Si la recherche doit être faite au voisinage du croisement de deux ou de plusieurs vallées, on forera au point de rencontre des lignes de thalweg.

**Travaux de recherches**. — Lorsque l'existence d'une couche aquifère est présumée au point choisi, on procède par des travaux aussi économiques que possible à la vérification et au contrôle du débit en eau.

Ces travaux consistent en puisards, tranchées,

puits forés à la main ou à la sonde suivant la position de la couche présumée dans le sol, la nature de ce dernier, terres meubles ou roches, et la profondeur que l'on doit atteindre.

Ces travaux étant analogues à ceux que nécessite le captage, nous renvoyons le lecteur au chapitre consacré au *Captage proprement dit*.

**Où l'on doit chercher l'eau.** — Dans une région où l'on voit sourdre des sources, où, par conséquent, la ou les nappes d'infiltration ne sont pas trop profondes, on exécutera les travaux de recherche de préférence :

*Au centre des dépressions naturelles du sol.*

*A l'origine des plis synclinaux, ravins ; à l'origine et sur les lignes de thalweg.*

*Au point d'intersection des lignes de thalweg de vallées ou ravins se recoupant.*

Si l'on est guidé par l'économie, on placera les travaux en *amont* du point choisi ; si un *grand débit* est le point principal, c'est en *aval* que se feront les travaux.

**Où l'on ne doit pas chercher l'eau.** — Les travaux présentent le risque d'être stériles si l'on se trouve dans une région formée de :

*Roches imperméables par compacité et adiacliques* : ces roches peuvent être d'origine éruptive ou sédimentaire ;

*Roches calcaires cavernueuses* dans lesquelles l'eau atteint souvent de grandes profondeurs ;

*Dans une vallée d'érosion formée dans un pli anticlinal.*

**Évaluation de la quantité d'eau captable.**

— L'expérience a montré qu'il était impossible d'évaluer même approximativement le débit possible d'une couche aquifère.

Ainsi, dans un bassin de 96 500 hectares n'ayant à sa surface ni ruisseau, ni puits et recevant chaque année 820 250 000 mètres cubes d'eaux météoriques correspondant à une chute moyenne de 26 mètres cubes à la seconde, le débit total du bassin n'atteint que 10 mètres cubes à la seconde. Tel est le cas du bassin de la fontaine de Vaucluse.

On peut cependant admettre avec Paramelle, que des couches très poreuses de 2 à 8 mètres d'épaisseur, reposant sur un sol imperméable convenablement incliné, produisent, après une sécheresse ordinaire, 1 152 litres par hectare et par jour, soit environ le *douzième* de la quantité moyenne et annuelle de pluie tombant sur cette surface.





## CHAPITRE IV

—

### PROCÉDÉS DE CAPTAGE

Le captage des eaux consiste à recueillir tout ou partie du liquide qui circule dans la nappe d'infiltration ; il nécessite des travaux souvent importants.

Le mode d'opérer varie suivant les circonstances, nous allons passer en revue les cas principaux qui se présentent, et réserver à un chapitre spécial les procédés d'adduction au point d'utilisation.

#### CAPTAGE PAR TRANCHÉES ET PUISARDS

**La nappe affleure sur une pente. —** La couche aquifère est mise à nu sur une certaine longueur, et l'on établit un puisard en maçonnerie, fermé de trois côtés, le quatrième ouvert étant fermé par la couche.

Pour éviter les pertes, le fond du puisard sera établi à un niveau inférieur à celui du fond imperméable sur lequel les eaux s'écoulent.

Au besoin, on obturera par un lit de glaise

surmonté de pierres plates, les autres sources jaillissant de cette nappe pour forcer l'eau à s'écouler par un seul point. Il est bon que le fond du puisard soit plus bas que la nappe, de façon à permettre à l'eau de s'accumuler.

Si la couche est de sable ou de terre très meuble, pour éviter une désagrégation et l'ensablement du puisard, on introduira, dans la masse, des tuyaux de drainage en nombre convenable, débouchant dans le puisard et l'on étalera, entre les tuyaux, un lit d'argile, puis de ciment pour consolider la couche.

On aidera à l'arrêt des sables en intercalant un lit de pierres concassées, de 1 mètre d'épaisseur, entre la tranche de la couche et les tuyaux de drainage.

Si l'on vise l'économie et que la réserve d'eau ne doit pas être importante, on pourra substituer au puisard en maçonnerie, un réservoir en tôle de fer et même en bois.

Souvent la pente du versant est trop faible pour permettre d'établir le puisard extérieur au sol. En ce cas, tout en procédant d'après le principe indiqué ci-dessus, on creuse un puits dans lequel on établit le puisard dont la partie supérieure dépassera le niveau du sol.

Il est indispensable de recouvrir le réservoir pour empêcher la pollution des eaux, et de ménager la possibilité de le curer de temps à autre.

**La nappe plaquée sur la pente est à faible profondeur.** — Tout d'abord, on déterminera la position des seuils et des poches par des travaux de recherches qui consisteront, la plupart du temps, en petites tranchées que l'on remblaie ensuite. Et suivant que l'on désirera faire le minimum de dépenses ou recueillir la plus grande quantité d'eau possible, le captage sera fait au-dessus d'un seuil ou d'une poche.

Dans la première hypothèse, on creusera une tranchée perpendiculaire à la direction d'écoulement des eaux, au-dessus du seuil ; les deux faces latérales seront rendues imperméables par une maçonnerie légère et une garniture épaisse en pierres concassées sera établie du côté d'où vient l'eau, pour empêcher l'obstruction des tuyaux de captage.

Si aucune circonstance ne s'y oppose, la tranchée sera établie en aval du seuil et pas en amont.

Lorsque l'on tient, au contraire, à un débit d'eau important, on établira la tranchée au point le plus profond de la poche pour autant que cette profondeur ne soit pas trop grande et l'on opère comme ci-dessus.

L'adduction de l'eau se fait, soit au moyen d'un siphon amorcé une fois pour toutes dont une extrémité plonge dans la tranchée et l'autre extrémité est reliée à la canalisation par un

tuyau en fonte qui traverse les terres et pénètre dans le bas de la tranchée.

**La nappe ne contient pas de poches.** — On est conduit, pour augmenter le débit de la nappe, à créer artificiellement une poche, ce que l'on réalise par l'établissement d'une tranchée dirigée perpendiculairement à la direction d'écoulement de l'eau.

Cette tranchée devra entamer le sous-sol imperméable ; elle sera, s'il y a lieu, garnie au fond et sur les côtés, de pierres plates pour empêcher les infiltrations. Par-dessus, on étalera une très épaisse couverture de pierres concassées qui débordera latéralement, et l'on remblaira.

La longueur, la largeur et la profondeur de la tranchée varient avec l'importance du débit à réaliser ; mais on ne descend pas au-dessous de 15 centimètres pour la largeur et de 25 centimètres pour la hauteur.

Le fond est légèrement incliné pour permettre l'écoulement de l'eau que l'on recueille à une extrémité de la tranchée à l'aide d'un drain transversal à moins que le caniveau ne débouche directement à l'extérieur.

---

## CHAPITRE V

—

### CAPTAGE PAR PUIITS

Le captage par puits est destiné à remplacer le procédé de captage par tranchées ou puisards, lorsque la nappe d'infiltration est à une profondeur trop grande.

Le puits poussé au travers de la nappe est toujours prolongé de un ou deux mètres dans le fond imperméable pour former une réserve d'eau, et, si ce fond est une roche fendillée, le puits devra être poussé jusqu'à ce que l'on rencontre plus bas une couche imperméable.

L'eau sera extraite du puits, soit par un siphon soit à l'aide d'une pompe et, de là, lancée dans la canalisation, à moins qu'elle ne soit utilisée à sa sortie du sol.

La section du puits dépendra de la quantité d'eau dont on a besoin, et du débit de la nappe d'infiltration et aussi de la profondeur que l'on devra atteindre.

Si l'on a besoin d'une faible quantité d'eau, pour les besoins domestiques d'une habitation,

on aura intérêt à foncer le puits à la main, à lui donner une grande section, par conséquent, plutôt que de faire la dépense d'un forage au trépan.

Si le débit de la nappe est puissant et que l'on doive aller chercher l'eau à grande profondeur, il sera plus économique de travailler au trépan.

Un puits ne doit pas être foncé en un point où les strates sont verticales ou très inclinées : l'eau d'infiltration descend, en effet, dans les joints sans s'arrêter, et peut aller ainsi à une trop grande profondeur. Lorsque cette circonstance se produit, il faut transporter le puits en un point où les couches ont retrouvé à peu près leur horizontalité.

Nous allons indiquer les conditions d'établissement des puits, suivant la nature des couches qu'ils doivent traverser.

**Fonçage à la main dans un terrain résistant.** — Par terrains résistants, nous entendons désigner ceux que le puits traversera sans provoquer d'éboulement ; ce sont le granite, les roches similaires, les calcaires, le grès, les dolomies, les gypses, etc.

Le sol est tout d'abord nivelé à l'emplacement du puits et l'on fixe un gabarit délimitant le pourtour de l'orifice.

L'ouvrier travaille la roche au pic et à la massette, si elle est relativement tendre, et dé-

tache des blocs qu'il rejette au dehors. Dans ces terrains, il n'est pas besoin de murailles ou de boiser les parois pour les retenir.

Lorsque l'ouvrier a creusé un peu plus que sa hauteur et que l'enlèvement des décombres à la pelle devient pénible, on monte un treuil au-dessus du puits et l'on établit une margelle pour protéger l'homme contre la chute possible de débris rocheux. Le travail de fonçage se poursuit de la même manière et un homme à la surface actionne le treuil pour enlever les débris dans un seau de 30 à 40 litres de capacité.

Arrivé à la nappe d'infiltration, l'homme continue à creuser pour atteindre le fond imperméable, l'entamer de 1 ou 2 mètres, soit à la main, soit à la barre à mine, soit au fleuret — et le faire sauter au besoin à la dynamite.

Pour empêcher l'envahissement du puits par l'eau pendant les travaux, on établit sur toute la surface latérale de la nappe d'infiltration, au fur et à mesure qu'on l'attaque, un cuvelage provisoire en bois qui sera enlevé après achèvement du puits.

Si la dureté de la roche ne permet pas un travail facile à la main, on emploiera la dynamite. L'homme creusera les trous de mine au pic ou au fleuret, les chargera d'explosifs qu'il fera ensuite détoner.

La quantité d'explosif à employer pour pro-

duire un certain effet dépend de la dureté de la roche.

Le tableau suivant indique la quantité d'explosif à employer en supposant qu'il en faille 100 pour la roche la plus dure :

Roches extrêmement dures : <i>granite, quartzite, diorite</i> . . . . .	100
Roches très dures : <i>granite, gneiss, porphyre</i> . . . . .	75
" dures : <i>calcaires anciens</i> . . . . .	50
" peu dures : <i>schistes, calcaires récents</i> . . . . .	35
" tendres : <i>craie, schiste</i> . . . . .	15

Le puits sera recouvert et il sera bon de disposer à l'intérieur une échelle de fer pour y descendre au besoin. Lors du curage, l'ouvrier établira un planchor sur deux barres de fer fixées transversalement dans les parois pendant les travaux de percement.

**Fonçage à la main dans les terrains tendres.** — Les terrains de cette catégorie sont faits de sable, de graviers, de cailloux roulés, de graviers agglomérés, d'argile sableuse bien drainée.

Le travail de fonçage se fait au pic et à la pioche, et il est rare que l'on soit amené à employer des moyens plus puissants pour avancer.

Bien que consistants, ces terrains s'effritent et



même s'ébranlent quand ils sont découpés verticalement sur une certaine hauteur, variable avec chacun d'eux.

Ainsi, le sable s'éboule quand sa hauteur découpée est de 0<sup>m</sup>,40, dans certains cas, de 1 mètre, dans d'autres, suivant son degré de finesse et d'humidité.

L'argile sableuse drainée se détache quand sa hauteur atteint de 1<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,50.

On obvie aux éboulements en maintenant les terres tendres par une paroi rigide.

Lorsque la partie à soutenir n'a qu'une faible hauteur, on la garnit d'un cuvelage en bois de chêne serré avec des coins.

Si, au contraire, les terres menacent de s'ébouler sur toute la hauteur du puits, on procède à leur soutènement provisoire par un cuvelage en bois disposé en couronnes très rapprochées, puis, le fonçage terminé, on muraille en briques ou moellons, en commençant par le bas et en allant de bas en haut.

On ménage de distance en distance des ouvertures dénommées barbicanes pour laisser arriver au puits les eaux d'infiltration qui *pousseraient* la maçonnerie.

**Fonçage à la main dans un terrain coulant.** — Ce travail présente de grosses difficultés et l'on est forcé de murailles au fur et à mesure que l'on descend.

Deux procédés sont employés suivant le degré de *fluidité* du terrain.

L'ouvrier, après avoir foncé un mètre, par exemple, pose à ses pieds une couronne, ou anneau de bois, peu épaisse et un peu plus large, dans sa partie pleine, qu'un moellon. Cette couronne faite par l'assemblage d'un certain nombre de morceaux de planche est entrée à force dans le sol et, sur cette base, on élève le muraillement de la partie excavée.

Cette opération terminée, l'ouvrier fonce à nouveau un mètre, place une couronne identique à la première et muraille de façon à rejoindre presque la couronne placée en premier lieu.

Le travail se poursuit de la sorte jusqu'à achèvement du puits.

Quand la chaux ou le ciment du muraillement a bien fait prise, on retire, *par morceaux*, les couronnes de bois et on comble les vides entre les assises de pierre avec du caillou et du ciment, de façon à appuyer les couronnes de maçonnerie les unes sur les autres.

Si la *fluidité* du sol ne permet pas d'opérer ainsi, on emploie une variante du procédé ci-dessus.

L'ouverture du puits ayant été bien démasquée, on pose à terre une couronne de fer ou de bois, mais alors très résistante, sur laquelle on élève un cylindre de maçonnerie de 0<sup>m</sup>,75

à 1 mètre de hauteur. Ceci fait, des ouvriers piochent sous la couronne et enlèvent par l'intérieur les déblais en même temps qu'ils foncent. La maçonnerie entraînant la couronne descend et quand elle est enfouie on élève sur la première une deuxième couronne ; on fait descendre le tout en fonçant et en piochant sous le massif et l'on continue ainsi jusqu'à achèvement du puits.

Des barbicanes sont ménagées dans les parois : il est bon de les garnir d'un tampon d'amiante pour empêcher l'ensablement du puits.

**Procédé par cuvelage filtrant.** — M. Lippmann a imaginé un procédé très ingénieux pour empêcher l'ensablement des puits établis dans les terrains très fluides.

On muraille comme d'habitude dans les parties ébouleuses et on garnit la partie du puits qui traverse la nappe d'infiltration, d'un cuvelage fait d'un tube de tôle garni de *plaques poreuses*.

L'eau filtre au travers des parois perméables sans entraîner de sable.

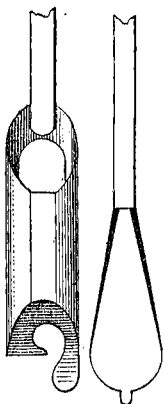
*Observation.* — Il va de soi que, quand un puits recoupera des couches de résistance variable, les méthodes diverses indiquées ci-dessus pourront être employées simultanément.

**Fonçage au trépan.** — La dureté des couches à traverser et la profondeur à atteindre pour re-

joindre la nappe d'infiltration obligent, dans certains cas à substituer le fonçage au trépan au fonçage à la main. Souvent aussi, les besoins d'une industrie nécessitent la présence sur place d'un puits à grand débit, et l'on est amené à forer jusqu'à ce que l'on trouve une nappe suffisamment riche, la profondeur à atteindre étant alors sans importance.

Le forage à la main sera généralement suffisant.

Le trépan (*fig. 4*, modèle de droite), sorte de tarière, est fixé à l'extrémité de la corde *a* du fléau XY (*fig. 5*); un contre-poids P l'équilibre à peu près.



*Fig. 4.* — Trépans.

L'ouvrier saisit l'étrier E à la main et imprime au fléau un mouvement oscillatoire.

Le trépan frappe le sol, le désagrège et s'enfonce progressivement.

Quand l'extrémité supérieure de la tige du trépan est au niveau du sol, on la prolonge par une tige métallique de deux mètres de longueur à l'extrémité de laquelle on fixera la corde *a*.

De temps à autre, on enlève les débris de roche à l'aide de la curette. La *fig. 6* montre

le modèle avec soupape à boulet couramment employé.

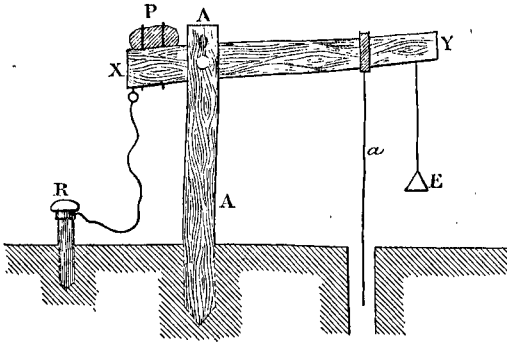


Fig. 5. — Dispositif pour forage à la corde.

Lorsque l'on atteint des couches argileuses, on substitue au trépan-tarière, le trépan-curette (fig. 4, modèle de gauche) et, quand l'instrument s'est enfoncé de sa profondeur, on le retire pour enlever le cylindre d'argile emprisonné.

Au trépan à fléau, on substitue souvent le trépan à treuil.

Un chevalement porte, au sommet, une poulie sur laquelle passe la corde soutenant le trépan, et, sur l'une des faces, un treuil que deux

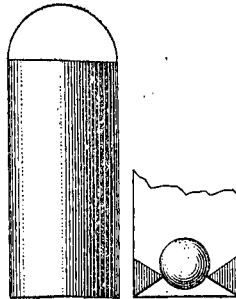


Fig. 6. — Curette.

hommes tournent *toujours dans le même sens*.

La corde du trépan s'enroule sur le treuil mais son extrémité est libre et tenue par un homme.

Pour enlever le trépan, l'homme tire sur la corde, le treuil mord, enroule la corde et le trépan s'élève. Quand l'homme estime que l'ascension est suffisante, il laisse aller la corde qu'il tient à la main, le treuil ne mord plus, la corde se déroule et le trépan retombe.

Si la résistance des couches rencontrées est faible, on tube avec des tuyaux de tôle d'acier.

La colonne métallique descend en même temps que le trépan et on la prolonge *par le haut* au fur et à mesure qu'elle disparaît dans le sol.

Il arrive fréquemment qu'avant de rencontrer une nappe d'infiltration suffisamment puissante, le forage recoupe des couches aquifères dont l'eau vient gêner les travaux.

Pour isoler le puits de ces couches, on coule du ciment entre le tubage et le sol : il est souvent nécessaire d'employer la même précaution quand le forage traverse des couches *très fluides* par la mobilité de leurs particules. On évite ainsi l'ensablage du puits.

L'extraction de l'eau se fait avec une pompe ordinaire si la profondeur de la nappe d'eau ne dépasse pas 7 à 8 mètres, et avec des pompes en cascades pour des profondeurs supérieures.

**Emploi de la dynamite pour augmenter la venue d'eau.** — Il arrive souvent qu'un puits creusé dans une roche fissurée donne, dès l'origine, moins d'eau que l'on avait espéré ou qu'il vient sinon à tarir, tout au moins à débiter moins que par le passé.

Dans l'un et l'autre cas, on obtient très souvent le résultat cherché, de donner au puits son débit normal, en provoquant la formation de nouvelles fissures par l'explosion de dynamite.

On dépose, *au fond*, une charge que l'on fait exploser et si ce premier essai ne réussit pas, on continue en faisant exploser des charges décroissantes, à différentes hauteurs, en commençant par le bas.

Ce procédé s'emploie pour tous les puits quelle que soit la nature du liquide qu'ils débitent : pétrole, eau douce, eau thermo-minérale.

La charge varie avec la nature des terrains et la profondeur.

---

## CHAPITRE VI

### ADDUCTION DES EAUX AU POINT D'UTILISATION

**Adduction des eaux.** — Divers systèmes sont employés et leur choix est déterminé tant par les circonstances locales que par le maximum de dépenses à ne pas excéder.

**Canalisation aérienne.** — Elle peut être de bois ou de métal. Les conduites ajustées bout à bout sont supportées par des chevalements.

On emploie tantôt des tuyaux cylindriques, tantôt des tuyaux à section rectangulaire ouverts sur une face et qui forment une sorte de rigole.

Même avec des éléments en bois, on peut conduire de grandes quantités d'eau pour l'alimentation d'usines ou de petites villes.

Dans les régions où le sapin croît en abondance, comme dans les Vosges, on utilise, pour les petits débits, des troncs de sapin perforés de bout en bout et réunis par une bague métallique.



**Canalisation souterraine.** — Généralement plus coûteuse que la première, la canalisation souterraine a l'avantage de soustraire l'eau à l'action du froid et d'être elle-même à l'abri des chocs et des ouragans.

Elle se fait en maçonnerie, en fer, en poterie.

Dans le premier cas, on pratique entre la source et le point d'utilisation, une tranchée que l'on referme ensuite ; les parois sont cimentées et murillées au passage des endroits éboulés et sous les chemins.

La canalisation en fer ou en poterie se place en tranchée à une profondeur suffisante pour qu'elle soit à l'abri des chocs.

**Calcul des dimensions d'une canalisation en tuyaux.** — Les formules de Prony :

$$v = 53,58 \sqrt{\frac{D \cdot L}{4\delta}} - 0,025$$

et

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 v$$

suffisent dans la plupart des cas :

$v$  est la vitesse moyenne de régime en  $m$  ;

$D$ , le diamètre intérieur de la conduite en  $m$  ;

$L$ , la longueur totale de la conduite en  $m$  ;

$\delta$ , la différence de niveau entre les deux extrémités de la conduite en  $m$  ;

$Q$ , le débit en  $m^3$ .

Certains préfèrent les formules de Darcy :

$$(1) \quad Q = \frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{D^5 \delta}{b_1}}$$

dans laquelle les lettres ont la même signification que précédemment.

Des tables donnent la valeur du coefficient  $b_1$  suivant les cas.

Pour simplifier les calculs, ces tables donnent, dans une colonne, la valeur de

$$(2) \quad \alpha = 6,4846 \frac{b_1}{D^5},$$

ce qui ramène la formule (1) à

$$Q = \sqrt{\frac{\delta}{\alpha}}.$$

Dans le cas de conduites neuves en fonte ou en fer étiré, il faut donner à  $\alpha$  la moitié seulement de sa valeur déduite de la formule (2). Avec des conduites neuves en tôle bitumée ou en verre, il ne faut donner à  $\alpha$  que le tiers de sa valeur déduite de la formule (2).

## CHAPITRE VII

### CAPTAGE DES EAUX POUR L'ALIMENTATION DES VILLES

L'alimentation d'eau des villes, tant pour les besoins domestiques que pour la propreté des voies, est une question fort importante, aujourd'hui que ce liquide est, à tort ou à raison, considéré comme le véhicule par excellence des agents microbiens.

Il convient donc d'amener en quantité de l'eau non souillée, et, par suite, de capter une source ou un groupe de sources réunissant les qualités requises.

La recherche et la prospection s'opèrent comme nous l'avons précédemment indiqué, mais le captage devant débiter une grande quantité d'eau entraînera, comme l'adduction, des travaux souvent fort importants.

D'autre part, l'eau devant être *saine*, on choisira des sources alimentées, autant que possible, par des couches de sable seul, qui ont, comme on le sait, un pouvoir filtrant et épurateur très

élevé. Si la couche aquifère est de calcaire fissuré, la présence, au-dessus, d'une couche de sable, sera utile sinon indispensable pour assurer la salubrité de l'eau.

Les travaux différant un peu, suivant que la nappe d'infiltration est de sable sur un fond imperméable, ou de sable et de calcaire fissuré, nous allons indiquer la direction à donner aux travaux dans chacun des cas.

**La couche de sable aquifère repose sur un fond imperméable.** — Le captage devra se faire naturellement par tranchée; la direction de celle-ci sera perpendiculaire à la direction des filets liquides, et ses dimensions en rapport avec l'importance du captage et la topographie locale.

La tranchée sera poussée très avant dans le fond imperméable et au-dessus, dans la couche de sable, on ménagera une galerie soutenue par des lits de pierres : galerie et tranchée ne font qu'un.

Par dessus le dôme de la galerie, on rejette une partie du sable retiré en creusant, puis, tant pour protéger la galerie des infiltrations extérieures directes qui peuvent être polluées, que pour forcer l'eau qui coule dans toute la hauteur de la couche aquifère à affluer dans la galerie en filtrant au travers des parois de pierres, on applique par dessus le sable rejeté et

battu, un lit de branches de bois résineux, sur lequel on bat une couche d'argile de 25 à 30 centimètres d'épaisseur. Cette toiture imperméable, bois et argile, est inclinée sur la direction des filets liquides ; son pied est presque en contact avec le bord aval de la galerie, et sa crête, très relevée, dépasse en amont, de plusieurs mètres, la verticale passant par le bord amont.

**La couche de sable repose sur un banc perméable et épais.** — Il n'est plus possible de traverser le banc perméable et d'établir le fond de la tranchée sur la couche imperméable qui est en dessous.

On établit une tranchée aussi profonde et large que possible dans le banc perméable calcaire fissuré, par exemple, et l'on applique sur le fond et la paroi aval un bon enduit de ciment. Par dessus, au contact avec la couche de sable, on met une toiture, bois et argile, inclinée d'amont en aval.

Dans certains cas, à l'intérieur de la tranchée dans le calcaire, on construit une galerie en pierres et l'on remblaie en sable en appliquant toujours la toiture bois et argile.

**La couche de sable repose sur un banc perméable et mince.** — Au cas où ce fond perméable est de peu d'épaisseur, on établit une tranchée dans les conditions que nous avons indiquées ci-dessus et qui, après avoir traversé

toute l'épaisseur du terrain perméable (sable et grès, par exemple), vient entamer très fortement le fond imperméable.

Dans la partie perméable, la tranchée sera faite plus large que dans le fond imperméable ; on recouvre des déblais et d'une toiture bois et argile, pour arrêter les infiltrations du sol.

Le canal de captage comprendra la tranchée et une galerie voûtée en pierres, établie dans le banc perméable dont les pieds reposent sur le rebord du fond imperméable.

Afin d'éviter des pertes d'eau au travers de la couche perméable, de grès, par exemple, on applique un enduit de ciment sur la face aval du grès et, si c'est jugé nécessaire, à cet enduit on substitue un muraillement léger et recouvert d'une couche de ciment.

---

## CHAPITRE VIII

### ADDUCTION DES EAUX POUR L'ALIMENTATION DES VILLES

La canalisation destinée à conduire l'eau du point de captage à la ville est souvent fort longue, et elle doit être étanche pour préserver l'eau des pollutions accidentelles ou intentionnelles.

Nous ne saurions mieux faire que de résumer ce qui fut fait dans les principales installations de ce genre.

**Adduction de la Dhuis.** — Toute la canalisation est en maçonnerie, sauf les siphons qui sont en fonte.

Longueur de la conduite libre en tranchée . . . . .	108 253 <sup>m</sup> ,83
"                    "          en souterrain . . . . .	9 752, 82
Longueur de la conduite en siphon . . . . .	16 057, 70
Total . . . . .	134 064 <sup>m</sup> ,45
Débit par 24 heures en mètres cubes . . . . .	20 000
Pente de la conduite libre . . . . .	0 <sup>m</sup> ,10
"                    "          en siphon . . . . .	0, 55

La conduite est faite suivant deux types de

même profil ovoïde, mais de dimensions différentes selon la quantité d'eau à conduire.

Pour le grand type, l'épaisseur est de 20 centimètres, le grand diamètre intérieur de 1<sup>m</sup>,76 et le petit diamètre de 1<sup>m</sup>,40.

Pour le petit type, les deux diamètres intérieurs sont de 1<sup>m</sup>,40 et 1<sup>m</sup>,20.

Le niveau de l'eau est à 0<sup>m</sup>,30 au-dessous de la clef.

La construction est en maçonnerie de meulière et ciment romain.

Les siphons en fonte ont 0<sup>m</sup>,80 de diamètre et une épaisseur de 0<sup>m</sup>,018 à 0<sup>m</sup>,25 suivant que la charge est de 40 mètres ou plus.

Dans les tranchées, la hauteur du déblai au-dessus des maçonneries de l'aqueduc est de 1 mètre.

Les dépenses pour la construction seule de la conduite a été de 11 597 207<sup>fr</sup>,56.

L'eau de la Dhuis marque 24 degrés hydro-métriques : elle sort des argiles à meulières à Pargny, canton de Condé (Aisne). Elle aboutit à Paris au réservoir de Ménilmontant.

**Dérivation de la Vanne.** — Le captage est fait à Fontvanne, près Estissac (Aube).

Longueur de la conduite libre en tranchée .	58 510,40
"                  "          sur arcades .	25 830,56
"                  "          en souterrain.	35 528,04
"                  "          en siphon. .	17 761,50
Total. . . . .	<u>137 630,50</u>



La conduite est en maçonnerie de pierrailles hourdies en mortier de ciment ; elle est de profil circulaire à l'intérieur. Le diamètre intérieur est de 2<sup>m</sup>,07, l'épaisseur est de 0<sup>m</sup>,28 au niveau du centre et seulement de 0<sup>m</sup>,20 à la clef de voûte et au radier.

Les siphons sont en fonte et mesurent 1<sup>m</sup>,10 de diamètre.

Le débit quotidien est de 102 000 mètres cubes.

La construction de la conduite a coûté 26457 648<sup>fr</sup>,94.

## CHAPITRE IX

---

### PROCÉDÉ PAR GALERIES FILTRANTES

**Filtration des eaux.** — Il est reconnu que le passage de l'eau au travers d'une couche de sable fin et homogène de 3 mètres à 4 mètres d'épaisseur, débarrasse l'eau non seulement des corps solides les plus ténus qu'elle tient en suspension, mais encore de la plupart des microbes qu'elle renfermait.

Lors donc que l'on pourra capter au-dessous d'une couche de sable de cette épaisseur, on sera certain d'avoir une eau saine, mais ce n'est pas toujours le cas et souvent l'on doit faire subir un filtrage à l'eau avant de la distribuer aux habitants.

Les installations de Toulouse et de Lyon dont nous allons indiquer le principe fixeront les idées sur les dispositions à employer.

**Galerie filtrante de Toulouse.** — On a utilisé un banc de sable existant naturellement, composé de gravier et de sable entremêlé de cailloux : trois filtres distincts ont été installés,

semblables entre eux, dont nous décrirons l'un. Ils épurent l'eau du Dillon.

La tranchée d'adduction, établie à 40 mètres en moyenne de la rive du Dillon, a 250 mètres de longueur sous chaque filtre, et son fonds est à 1<sup>m</sup>,15 en dessous du niveau des basses eaux. La galerie proprement dite est formée de deux murs en briques simplement superposés et recouverts de dalles de pierre. La galerie a 0<sup>m</sup>,60 de largeur et 1<sup>m</sup>,50 de hauteur. L'espace compris entre la galerie et la tranchée est garni de pierres concassées; par-dessus, on a remblayé avec du sable de déblai.

Ce filtre fournit par jour 2 800 mètres cubes d'eau, soit 20 mètres cubes par mètre carré de surface totale.

**Galerie filtrante de Lyon.** — La galerie est en ciment et son radier en gravier et sable est à 3 mètres en-dessous de l'étiage du Rhône. Elle est noyée dans le sable. La largeur de la galerie est de 5 mètres, sa longueur de 150 mètres. Le prix de revient est de 1 200 francs le mètre courant et sa puissance de filtration de 300 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures.

**Évaluation de la consommation d'eau dans les villes.** — On peut admettre les chiffres suivants rapportés à la journée de 24 heures :

Désignation	Litres d'eau
Par personne pour la nourriture.	2
Par personne pour les besoins de toilette, bains . . . . .	18
Par cheval . . . . .	75
" vache . . . . .	75
" voiture à 2 roues . . . . .	40
"   " à 4   " . . . . .	100
"   " de louage . . . . .	50
" mètre carré d'allée, cour, jardin	3
" boutique . . . . .	100
" bain . . . . .	300
Pour le lavage des ruisseaux, égouts. . . . .	5000 à 6000
Pour un arrosage de 1 mètre carré de rue. . . . .	1

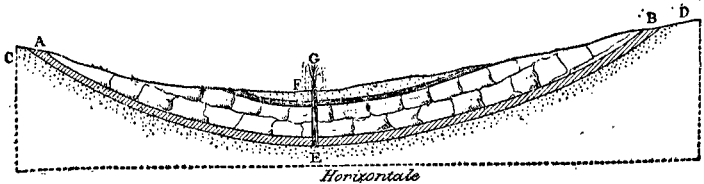
Le tableau ci-dessous indique la consommation moyenne d'eau par habitant et par jour dans les principales villes de France :

Villes	Habitants	Litres d'eau
Limoges . . . . .	61 000	240
Dijon . . . . .	56 000	240
Melun . . . . .	12 000	210
Orléans. . . . .	58 000	200
Tours . . . . .	53 000	190
Nantes . . . . .	127 000	150
Lyon. . . . .	402 000	150
Toulouse . . . . .	145 000	120
Troyes . . . . .	47 000	110

## CHAPITRE X

### NAPPES ARTÉSIENNES. PUITS ARTÉSIENS.

Lorsqu'une couche perméable BEC comprise entre deux bancs imperméables suit les versants et le fond d'une vallée synclinale sans y affleurer, elle renferme une nappe d'eau invisible, dite *artésienne*, si elle reçoit ses eaux d'infiltration en A ou en B : par l'effet de la pesanteur, le liquide chemine de B en E et de C en E (*fig. 7*).



*Fig. 7.* — Nappe artésienne et puits artésien.

Au point le plus bas, en E, la pression de la colonne d'eau est égale à la hauteur verticale de B au-dessus de E.

Si donc, on fait un puits EF, l'eau jaillira et s'élèvera à une certaine hauteur au-dessus du

sol. Les frottements sur les particules de la couche perméable absorbent une certaine partie de la puissance vive de l'eau, c'est pourquoi, même en tubant le puits, l'extrémité supérieure V de la colonne d'eau sera à un niveau inférieur à celui des points A et B.

Un tel puits porte le nom d'*artésien*.

Dans la recherche des nappes artésiennes, on se guide sur ce fait que nous avons signalé précédemment (p. 23) que le profil des nappes d'infiltration reflète les ondulations du sol.

Le sondage sera établi dans une vallée synclinale, dans une dépression, encaissée et bordée par des strates relevés de chaque côté, et sur le thalweg souterrain si la détermination de cette ligne est possible.

D'une façon générale, le terrain jurassique pauvre en couches de sable est peu propice à l'existence de nappes artésiennes et c'est dans le crétacé que l'on a le plus de chance d'en rencontrer.

Le captage de la nappe artésienne consiste dans le forage d'un puits, généralement de petite section, par les procédés que nous avons indiqués précédemment. On opère au trépan et l'on tube pour éviter l'obstruction du puits.

Lorsque le trépan arrive à proximité de la couche aquifère, celle-ci cède sous l'effet de la pression hydrostatique de l'eau et le liquide

jaillit en entraînant des terres. Très rapidement le régime s'établit et l'eau coule pure.

**Débit d'un puits artésien.** — Le débit est proportionnel à la section du tube et il varie avec la hauteur de la tubulure au-dessus du sol.

Le débit sera nul si la tubulure a une hauteur au moins égale à celle de la colonne d'eau jaillissante ; il sera maximum si on supprime la colonne.

*Données sur le puits artésien de Grenelle*

Date du percement. . . . .	1842
Altitude . . . . .	36 <sup>m</sup> ,60
Diamètre à la surface. . . . .	30 centimètres
"    au fond . . . . .	17    "
Profondeur dans le sol . . . . .	548 mètres
Débit au sol par 24 heures en 1842.	3 200 mètres cubes
Débit réglé à l'altitude de 73 m.	1 100    "
Débit actuel par 24 heures. . . . .	350    "
Température de l'eau. . . . .	28° C.

*Données sur le puits artésien de Passy*

Date du percement . . . . .	1861
Altitude. . . . .	53 <sup>m</sup> ,50
Profondeur . . . . .	580 mètres
Débit au sol en 1861 par 24 heures.	20 000 mètres cubes
Débit réglé à l'altitude de 77 <sup>m</sup> ,15.	6 192    "
Débit actuel. . . . .	5 000    "
Température de l'eau . . . . .	28° C.

La nappe qui alimente ces deux puits est formées par les *sables verts*.

Lorsque plusieurs puits artésiens sont établis sur un même bassin, ils s'influencent réciproquement et le débit de chacun d'eux est moindre que s'il était seul. L'ouverture du puits de Passy fit baisser le débit du puits de Grenelle de  $\frac{1}{9}$ .

---



## TROISIÈME PARTIE

---

### CHAPITRE PREMIER

---

#### EAUX MINÉRALES, EAUX THERMO- MINÉRALES

Dans la Première Partie, Chap. I<sup>er</sup> et IV, nous avons indiqué la composition des eaux météoriques et montré les réactions chimiques générales qu'elles peuvent produire, à l'intérieur du sol, au contact avec les corps si divers qui composent l'écorce terrestre, et expliqué ainsi l'origine ou plutôt la cause de la minéralisation de certaines eaux

Nous avons également signalé qu'au lieu d'avoir une température à peu près égale à la température moyenne du lieu où elles émergent, certaines sources présentent des températures élevées, pour certaines, voisines de 100° C., en même temps qu'elles sont fortement minéralisées.

Ceci nous a conduit à classer ces eaux en deux catégories distinctes :

#### 104 EAUX MINÉRALES ET THERMO-MINÉRALES

- Les *eaux minérales* à température froide ;  
Les *eaux thermo-minérales* à température élevée.

Cette classification se maintient lorsque, par l'analyse, on cherche l'explication de leur formation, et nous la conserverons.

Les eaux météoriques sont, pour elles aussi, la cause première de leur existence ; la circulation dans l'intérieur du globe s'opère toujours au contact d'une paroi imperméable qui s'oppose à leur diffusion, mais dans des conditions particulières que nous devons signaler tout d'abord.

---

## CHAPITRE II

---

### GENÈSE ET REMONTÉE DES EAUX MINÉRALES ET THERMO-MINÉRALES

Les eaux météoriques ayant pénétré dans le sol, selon l'un des modes indiqués précédemment, peuvent ne pas être arrêtées dans leur descente et poursuivre leur marche jusqu'à une grande profondeur avant de buter contre une couche imperméable qui les arrêtera.

Pendant ce trajet, elles auront rencontré des bancs de substances très diverses, circulé dans les diaclases de certains, filtré au travers d'autres, suivi des canaux naturels résultant de failles, d'anciennes cheminées hydrothermales, dont l'intérieur est tapissé de minerais très divers, des fissures existant dans des filons métallifères.

Les corps dissous dès l'origine dans l'eau météorique, seront sans action sur certaines de ces substances, sur d'autres, ils agiront, et de ces réactions chimiques naîtront rarement des corps insolubles qui précipiteront et presque toujours

des composés solubles que l'eau entraînera à l'état dissous, voire même des gaz.

Si, après s'être minéralisée à une faible profondeur dans l'intérieur, la nappe liquide vient à rencontrer un fond imperméable, elle sera canalisée par cette dernière et viendra émerger à la façon des sources ordinaires.

La température de l'eau sera approximativement celle du lieu et la source sera dite *minérale*.

Les sources minérales proprement dites sont rarement gazeuses et elles renferment surtout des sels alcalins, alcalino-terreux ou magnésiens qu'elles ont empruntés aux couches sous-jacentes par voie de simple dissolution : elles ne contiennent pas ou que peu de fer, de lithium, d'arsenic, etc.

Si la nappe d'eau ne rencontre pas à faible profondeur un fond imperméable qui la canalise, elle subira de profondes modifications et acquerra des propriétés nouvelles.

Au fur et à mesure qu'elle descend, l'eau s'échauffe, car l'on admet que la température du sol s'accroît de 1° C. par chaque 30 à 35 mètres de profondeur. Ce chiffre n'a rien d'absolu, et, comme on le verra plus loin, il est sujet à des variations notables suivant les conditions topographiques de l'endroit et diverses circonstances locales.

Quelle que soit la loi d'accroissement de la température interne au point considéré, l'eau s'échauffe au cours de sa descente, condition qui favorise les réactions chimiques qui la minéraliseront, et elle acquiert la thermalité.

Il est cependant un cas où la haute température d'une eau n'est pas due à une descente profonde dans le sol, et il s'applique à de nombreux groupes de sources thermo-minérales fort intéressantes.

Dans les contrées volcaniques anciennes ou récentes, la température interne s'élève plus vite qu'ailleurs, le sol fortement échauffé lors des éruptions n'ayant pas eu le temps de se refroidir. Par suite, les eaux qui circulent dans les massifs volcaniques atteindront, pour une faible profondeur, une température plus élevée qu'ailleurs ; elles pourront être très éloignées du centre d'éruptions, même *anciennes*, et acquérir rapidement une température supérieure à celle de la moyenne du lieu si, par des failles ou des fissures internes, elles continuent à recevoir et à dissoudre des émanations gazeuses d'origine volcanique.

**Le degré géothermique.** — Le degré géothermique est la hauteur dont il faut descendre pour constater un accroissement de température du sol de 1° C.

Des expériences nombreuses, faites dans les

mines de diverses contrées, ont établi, comme moyenne de la valeur du degré géothermique 30 à 35 mètres.

**Variation du degré géothermique.** — La valeur indiquée ci-dessus est susceptible de variations dans des circonstances particulières qu'il importe de rappeler.

La partie culminante des hautes montagnes est refroidie, et pour des altitudes voisines de la limite des neiges perpétuelles, le degré géothermique est de plusieurs centaines de mètres.

Au mont Cenis, le degré géothermique est de 350 mètres dans la partie culminante.

**Isogéothermes.** — On désigne ainsi les surfaces d'égale température à l'intérieur du globe.

Il est probable qu'à une profondeur suffisante, les isogéothermes sont parallèles entre elles, peut-être vers 2 000 mètres, mais dans le voisinage de la surface, elles sont irrégulières, ondulées, leur allure étant en rapport avec la topographie du sol et la température moyenne du lieu.

Les isogéothermes suivant, en général, les reliefs du sol, comme le montre la *fig. 8*, l'on calcule la température d'un point à l'intérieur de la montagne, en ajoutant à la température de l'isogéotherme atmosphérique (portée en ordonnée) le produit de 30 par la distance au sommet de la montagne ; on constate que, à

l'intérieur de la montagne, la température est plus élevée qu'à l'extérieur pour la même altitude.

Si l'on considère la surface sphérique passant par le point O (fig. 9), le plus profond des océans, — 8500 mètres, — où la température est de  $0^{\circ}$  C. et la projection orthogonale O', sur cette surface, du sommet T, le plus élevé du globe, 8500 mètres au-dessus du niveau de la mer on trouve qu'il doit exister, entre les deux points O et O', une différence de température de  $500^{\circ}$  C.

La température serait donc en O de  $0^{\circ}$  C., et en O' de  $500^{\circ}$  C.

Sur une même sphère, on trouve donc des zones à la température de la glace contiguës à des zones dont la température est voisine du

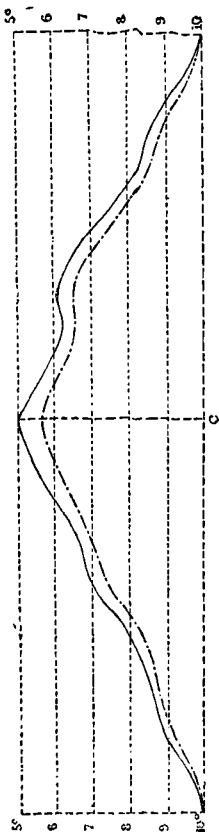


Fig. 8 — Ligne isogéotherme (en pointillé).

point de fusion ou de décomposition de certaines roches.

### Le circuit hydrothermal.

— Quelle que soit l'origine de la thermalité de l'eau, on considère le circuit liquide, comme formé de deux parties, l'une à l'entrée, froide, et l'autre à la sortie, chaude. Il en résulte une différence de densité et, par suite, de poids, entre les deux colonnes, de telle sorte, que la sortie chaude pourra être à une altitude plus élevée que l'entrée froide et que si elles sont au même niveau, la source thermique sera jaillissante. Le phénomène sera accentué si, comme le représente la *fig. 10*, la source A est à un niveau inférieur aux fissures par lesquelles les eaux météoriques pénètrent dans le sol. Les isogéothermes 1 et 2 font ressortir l'influence des différences d'altitude de l'entrée et de la sortie de l'eau.

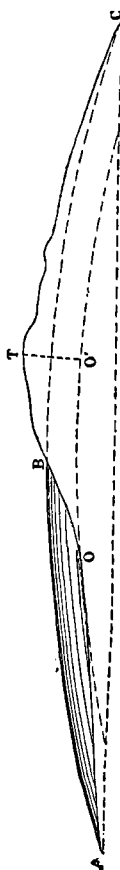


Fig. 9.

Les gaz dissous par l'eau ou tenus en suspension sous forme de bulles à l'intérieur du liquide, à une pres-



sion souvent assez forte, agissent sur la colonne chaude pour la faire remonter et accroître le débit de la source.

De tous ces gaz, l'acide carbonique est le plus abondant.

De même que pour les puits artésiens, la création de sondages nouveaux influe sur le débit des sources gazeuses au point, quelquefois, d'amener la suppression du débit de celles qui sont le plus mal situées.

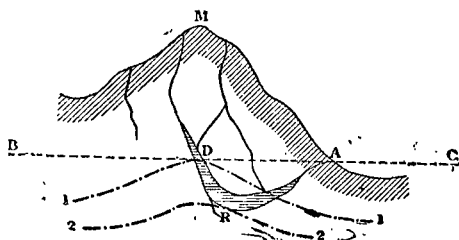


Fig. 10.

Les variations de la pression atmosphérique se répercutent souvent sur le débit des sources de cette catégorie.

Les gaz, hydrogène principalement, et oxygène, produits par la dissociation de l'eau au contact de roches à haute température, jouent, dans certains cas, un rôle dans la remontée de l'eau.

La partie inférieure de la colonne chaude étant soumise à une pression souvent très élevée, la température pourra y être de beaucoup

supérieure à 100° C., tandis que, à la sortie, l'eau pourra ne marquer que 25 ou 30° C.

**Rôle des failles.** — Un trajet aussi lointain à l'intérieur du globe ne peut se faire que dans une *faille* ou dans le chenal d'un filon métallique en partie disparu, ce qui revient au même.

L'expérience a prouvé la réalité de cette hypothèse, et, dans ce qui suit, nous admettrons que la source thermale jaillit d'une faille ayant une lèvre perméable et dont l'autre lèvre imperméable force l'eau à remonter.

**Lieu d'émergence.** — Tout naturellement, la source tend à sortir au point où elle rencontre le moins de résistance à briser son enveloppe, c'est-à-dire, au point le moins élevé de la faille, à la surface ; par suite, elle émergera de préférence à l'intersection de la faille et d'une vallée.

**Allure du griffon.** — Rarement, la source émerge par un point unique, par un seul griffon.

Les parois de la faille peuvent être fissurées et, par chacun de ces chenaux, l'eau s'écoule, donnant lieu quelquefois à des sources de composition chimique et de vertus médicales différentes.

Les points d'émergence se trouvant généralement dans les vallées, les points de sortie de

l'eau sont enfouis sous des éboulis, des dépôts alluvionnaires dans lesquels la source principale s'éparpille en plusieurs filets qui viennent au jour à des distances variables des uns aux autres.

**Abaissement du griffon.** — On constate fréquemment, surtout pour les sources carbonatées calciques, qu'à une époque antérieure, les eaux émergeaient à une altitude plus élevée.

Cette constatation résulte des lits de matériaux déposés par les eaux.

On attribue l'abaissement du griffon au travail d'érosion.



## CHAPITRE III

—

### ÉLÉMENTS CHIMIQUES DES EAUX MINÉRALES

La composition chimique des eaux minérales est en relation intime avec la composition des roches de la région.

**Eaux minérales des terrains sédimentaires.** — Elles seront calcaires, magnésiennes, ferrugineuses, gypseuses, sulfurées calciques ; elles pourront être carbonatées sodiques si, pour une cause quelconque, elles sont riches en acide carbonique.

Dans les régions peu disloquées, elles seront froides ; dans les régions très tourmentées, comme les Alpes, elles seront chaudes.

**Eaux minérales des terrains anciens.** — Ces régions étant très fissurées et, par suite, riches en filons métalliques, les eaux y sont, en général, chaudes. La minéralisation exige soit que les eaux rencontrent des amas de sulfures métalliques, soit qu'elles subissent l'action de mofettes d'acide carbonique. Les feldspaths des roches laisseront partir leurs alcalis : dans le

premier cas, à l'état de sulfure ; dans le second cas, à l'état de carbonato,

Les sources influencées par des fumerolles ou mofettes ont une aptitude spéciale à dissoudre les minerais de certains métaux.

**Nomenclature des éléments chimiques des eaux minérales.** — Soufre, sélénium, fluor, chlore, iode, brome, arsenic, bore, silicium, potassium, sodium, lithium, magnésium, calcium, baryum, strontium, rubidium, cæsium, aluminium, manganèse, étain, cuivre, plomb, mercure, argent.

**Gaz des eaux thermo-minérales.** — Tout d'abord, la quantité de gaz dissous est en raison inverse de la température de l'eau.

Une fraction de ces éléments était renfermée dans l'eau météorique, tels les éléments de l'air, oxygène et azote ; une seconde partie a pu être recueillie de fumerolles au cours du trajet souterrain, enfin des produits gazeux peuvent résulter des réactions chimiques entre l'eau et les couches qu'elle traverse.

Ces gaz sont véhiculés par l'eau, dissous pour une partie, le reste à l'état de bulles qui viennent crever au griffon.

Le plus abondant d'entre eux est l'acide carbonique, puis l'hydrogène sulfuré, l'azote, l'oxygène en faible quantité, l'hydrogène, l'hydrogène carboné et enfin l'hélium et l'argon.

**Dépôts des eaux thermo-minérales.** — Le terrain entourant la source, le griffon, les tuyaux d'adduction sont le siège de dépôts appartenant à deux catégories distinctes.

*Dépôts boueux.* — Ils représentent les particules insolubles arrachées par les eaux aux couches du sol, tant par voie mécanique que par voie chimique : dans ce dernier cas, ils représentent le résidu insoluble de la dissolution de sels de roches.

*Dépôts d'incrustation.* — Parmi les corps reconnus dans l'eau, les uns doivent leur dissolution à la température du liquide, les autres à la présence d'un agent gazeux. Un abaissement de température, l'évaporation d'une partie du gaz entraîneront leur précipitation souvent sous la forme cristallisée.

C'est ainsi que s'expliquent les dépôts siliceux et calcaires que l'on trouve souvent en grande abondance autour des sources, et dont l'action a pour effet de modifier l'emplacement du griffon, de réduire le débit d'un puits.

**Dépôts zoologiques et organiques.** — La vie animale et la vie végétale se manifestent souvent dans les griffons et appareils de réception des eaux thermo-minérales.

Tout d'abord, et souvent, des microbes provenant d'infiltrations d'eaux contaminées, puis des

coquillages des genres *Lymnée* et *Turbo*, des insectes et même des poissons.

Des algues du genre *Conserve* tapissent souvent les parois des bassins, surtout si l'air et la lumière pénètrent. Comme tous les organismes végétaux, les conferves ont une action chimique sur les eaux, entre autres, la réduction des sulfates et la formation subséquente d'hydrogène sulfuré. Les conferves absorbent aussi les gaz de la source.

Des dépôts organiques se forment dans les griffons des sources sulfureuses, principalement, sous forme d'amas gélatineux. De composition non définie, ces dépôts ont reçu le nom de : *glairine*, *barégine*, *luchonine*.

On ignore si ces dépôts organiques ont une relation précise avec la composition de l'eau.

---

## CHAPITRE IV

—

### MODES DE MINÉRALISATION DES EAUX

Les idées que nous avons émises sur la genèse des eaux thermo-minérales, conformes, du reste, à celles que M. de Launay a exposées dans son traité : *Recherche, Captage, Aménagement des sources thermo-minérales*, permettent de prévoir ce résultat de l'expérience que, dans les eaux d'une même région ou de régions éloignées mais similaires, on rencontre les mêmes groupes d'éléments salins pour autant que les conditions de thermalité soient les mêmes.

Le mode de minéralisation dépendant, toute question de thermalité mise de côté, de la nature des terrains traversés et réciproquement, il se trouvera qu'en indiquant les procédés mis en œuvre par la nature dans la minéralisation, nous établirons une classification des eaux, tenant compte simultanément de leur composition chimique et de la nature du sol originel.

Cette classification subsiste quel que soit le mode de minéralisation employé : *dissolution*,



*injections gazeuses, réaction chimique des corps dissous dans l'eau sur le terrain encaissant.*

**Minéralisation par dissolution.** — C'est le cas de la plupart des sources dites *salines* ; l'élément minéralisateur a été emprunté à un dépôt lagunaire généralement permien, triasique, éocène ou miocène. L'élément chimique dominant dans le dépôt et, par suite, dans l'eau, varie avec la phase de l'évaporation lagunaire à laquelle il correspond.

On sait, en effet, que, par évaporation, l'eau de mer abandonne successivement :

- Calcaire et oxyde de fer ;
- Gypse ;
- Sel marin ;
- Sel marin mélangé de sulfate de magnésie ;
- Sulfate de magnésie et chlorure de potassium ;
- Chlorure de magnésium et de potassium (*carnalite*).

Et il reste une eau-mère renfermant du chlorure de magnésium et de l'acide borique qui ne sèche jamais.

Souvent l'anhydrite est substituée au gypse dans les gisements tels que ceux de Strassfurth.

Les régions d'évaporation lagunaire ont presque toujours été le siège de mouvements importants du sol ; les conditions dans lesquelles s'est fait le dépôt ne sont donc pas forcément les mêmes pour tous les points d'un bassin ou de

deux bassins de même âge, et suivant que l'eau thermale rencontrera telles ou telles couches, elle se chargera de tels ou de tels principes à l'exclusion des autres. D'où la diversité de composition des sources dites salines qui comprennent entre autres :

- Sources chlorurées sodiques ;
- Sources sulfatées magnésiennes ;
- Sources sulfatées sodiques ;
- Sources sulfatées calciques.

Les eaux thermo-minérales issues d'un massif volcanique peuvent renfermer un peu de chlorure de sodium et d'autres sels alcalins provenant de l'attaque des feldspaths par l'eau très chaude, chargée d'acide carbonique et d'un peu d'acide chlorhydrique ou d'un chlorure alcalin.

Faisons observer que les eaux sulfatées sodiques et sulfatées magnésiennes ne peuvent provenir de la dissolution d'une masse des sels correspondants déposés au cours de l'évaporation. Ceci résulte de l'ordre que nous venons d'indiquer dans le dépôt des produits d'évaporation de l'eau de mer.

Il est probable, d'après M. de Launay, que ces masses isolées proviennent d'une double décomposition entre les chlorures ou carbonates alcalins correspondants et le gypse et dans certains cas de la réaction d'oxydation de pyrites sur

des roches magnésiennes, serpentines, basaltes.... : ces dernières sont transformées en argiles.

**Minéralisation par injections gazeuses.**

— Les acides carbonique et sulfhydrique sont les deux produits gazeux principaux qu'une source peut recevoir par injection ; les injections d'acide chlorhydrique sont rares.

Ces corps sont dégagés, soit par des cheminées volcaniques que des fissures mettent en communication avec la source, soit par les roches et le terrain volcaniques qui en sont saturés. Tel est le cas des sources thermales dans les régions de cette nature.

L'acide carbonique, dégagé par réaction sur des calcaires de l'eau rendue acide par la décomposition de pyrites, est beaucoup plus rare et constitue plutôt des exceptions.

**Minéralisation par réactions chimiques.**

— L'attaque des feldspaths par les eaux très chaudes, chargées d'acide carbonique, explique la présence, dans les eaux des régions volcaniques, des bicarbonates de sodium et de calcium.

Les gîtes métallifères rencontrés céderont certains éléments : cuivre, arsenic.

Des réactions plus complexes expliquent la provenance du lithium emprunté à des micas lépidolithes ou à du triphane.

Le fer est tellement répandu dans la nature,

qu'il est inutile d'invoquer l'action d'amas de pyrites pour expliquer sa présence.

Le sulfure de sodium semble résulter de la réduction du sulfate de soude par les composés organiques ou organisés dont nous avons signalé la présence dans les griffons.

L'origine du sulfure de fer et du sulfure de calcium serait la même : la production de ces sulfures est accompagné du dégagement d'acide sulfhydrique.

Dans les sources sulfurées sodiques, il semblerait que le sulfate de sodium originel proviendrait de l'attaque des feldspaths par l'acide sulfurique.

**Cas particuliers.** — Il existe un certain nombre de sources thermales, dans les Alpes, par exemple, dont la minéralisation est si faible, qu'elle ne suffit pas à expliquer leur action thérapeutique.

Peut-être ces eaux contiennent-elles des principes que nous ne connaissons pas et que l'analyse ne sait pas encore décéler.

**Produits divers se formant dans les griffons.** — En dehors du dépôt de leurs éléments constitutants, les eaux thermales, par réaction sur les maçonneries, les tuyaux de captage produisent des synthèses minérales des plus curieuses : aragonite, calcite, pisolithes de calcaire, dolomie, barytine, orpiment, célestine ;

Opale, chabasia, harmotome, mésotype, apophyllite, fluorine, sur les maçonneries ;

Chalcosine, chalcopyrite, philipsite, tétraédrite, atacamite, cuprite, chrysocolle, sur le bronze ;

Litharge, cérusite, anglésite, phosgénite, galène, sur le plomb ;

Pyrite, sidérose, vivianite, sur le fer.

Les quatre derniers exemples se trouvent réalisés à Plombières.



## CHAPITRE V

### DÉBIT DES SOURCES THERMO-MINÉRALES

**Calcul du débit.** — Nous supposons le captage opéré par une conduite cylindrique de rayon  $r$ .

Le débit est, en fonction de la vitesse  $v$  d'écoulement :

$$(1) \quad D = \pi r^2 v.$$

**Mesure du débit d'une source.** — *Le griffon débouche à la surface du sol.* — Dans ce cas, peu fréquent, il est vrai, on fait écouler l'eau par une conduite rectangulaire large de 10 centimètres, d'une longueur  $l$  variable suivant les circonstances ; le régime établi, on mesure l'épaisseur  $h$  de la lame d'eau dans la conduite :

Le débit  $D$  est donné par la relation :

$$D = 0,385 \sqrt{2gl^2h^3}.$$

*Le griffon ne débouche pas à la surface du sol.* — C'est le cas le plus fréquent où l'on amène l'eau au jour à l'aide de pompes.

Si le terrain n'est pas fissuré aux abords du griffon, on épuise rapidement le puits au moyen de pompes et l'on observe le temps que l'eau met à remonter.

Lorsque des infiltrations viennent mêler leur eau à celle de la source thermale, on les obture avant de laisser remonter l'eau.

En répétant l'expérience sans obturer les orifices d'infiltrations, on obtient le débit combiné de la source thermale et des infiltrations; ces dernières devant souvent être mélangées à l'eau thermale, soit pour en abaisser la température, soit pour en modifier la minéralisation, la connaissance de leur débit est souvent utile.

**Variation de débit par les infiltrations.** — Nous n'insisterons pas sur les variations occasionnées par des sécheresses ou des crues, lorsque la source thermale est en communication avec des nappes souterraines que ces manifestations extérieures influencent.

La variation de la pression dans la fissure d'amenée de l'eau chaude exerce une influence notable sur les infiltrations : une augmentation les refoule, une diminution les appelle.

**Variation du débit avec le niveau du plan de captage.** — La hauteur du plan de captage exerce une grande influence sur le débit.

Le profil schématique du circuit d'une source thermale est comparable à celui d'un tube en U. La hauteur à laquelle l'eau chaude tend à s'élever dans la branche où elle circule dépend de la hauteur de l'eau dans l'autre branche, de la densité de l'eau chaude et, par suite, de sa température, et de la force ascensionnelle que lui communiquent les gaz.

La valeur du débit dépendra donc de la hauteur à laquelle sera faite la prise d'eau et, plus le niveau de captage sera bas par rapport au niveau statique et plus le débit sera considérable,

Une conséquence de cet état est que si, sur le griffon, on établit un tuyau vertical dans lequel l'eau s'élève, celle-ci parviendra à une certaine hauteur et s'arrêtera : cet artifice reçoit son application pratique, comme on le verra, pour restituer à des puits voisins leur force ascensionnelle primitive, ou diminuer le débit du griffon en faisant la prise d'eau à une hauteur convenable sur ce tuyau.

La formule de Bernouilli appliquée à un tuyau de section circulaire :

$$(2) \quad \frac{v^2}{2g} + h + 0,00125 \frac{v^3 l}{\gamma} = \text{const.}$$

dans laquelle :

$v$  représente la vitesse d'écoulement ;

$h$  représente la profondeur d'où vient l'eau,



c'est-à-dire la hauteur verticale de la branche chaude du tube en U.

$l$ , longueur du trajet souterrain ;

On calcule  $l$  d'après la température de l'eau à sa sortie et le degré géothermique local (30 mètres en moyenne) ;

$r$ , rayon de la conduite circulaire ;  
permet de calculer  $v$  qui, introduite dans (1), donne la valeur du débit D.

La variation de débit pour une faible variation de  $h$  est très notable.

Un abaissement du plan de captage, correspondant à une diminution de pression, entraîne un accroissement du débit de la source et un appel des eaux d'infiltration. Il faudra donc, avant de décider de cet abaissement, se rendre compte si les infiltrations qui seront provoquées proviendront de nappes ayant circulé à grande profondeur, — la température de la source ne variera pas, — ou de nappes ayant peu circulé dans le sol et, par suite, froides, auquel cas, la température au griffon s'abaissera.

Les variations de la pression atmosphérique peuvent influencer sur le débit ; à une diminution de la pression correspond une augmentation de débit.

**Variation de débit avec la section utile de la canalisation.** — Le débit augmente avec la section de l'orifice d'écoulement, mais moins

vite que cette dernière : deux puits identiques ne donnent pas un débit double de celui que donnerait l'un d'eux s'il fonctionnait seul.

**Influence réciproque de puits voisins.** — Il arrive très fréquemment qu'un sondage bouleverse complètement le régime d'un puits ancien : le débit est diminué, la température et la minéralisation s'abaissent.

C'est ce qui se produit quand un sondage est fait à une cote inférieure à celle d'un puits existant.

Le remède consiste, soit à obturer le sondage, soit à le surmonter d'un tube dans lequel l'eau devra s'élever d'une certaine hauteur avant de s'écouler au dehors.

**Action des tremblements de terre.** — Les secousses du sol impriment à la colonne d'eau un mouvement oscillatoire ; le débit de la source augmente, puis diminue, et le phénomène se produit un certain nombre de fois. Les eaux sortent troubles, puis s'épurent, les gaz s'échappent en abondance.

Rarement la source disparaît et souvent, au contraire, son débit est accru par l'ouverture de fissures nouvelles.

Il y a analogie avec ce qui se produit quand on fait éclater la dynamite dans un puits pour créer ou augmenter la venue de l'eau.

**Moyens de combattre les infiltrations.** — Si la source thermale débouche par une ouverture large par rapport à la section des fissures d'infiltration, on pourra pomper l'eau chaude de façon à abaisser la teneur en eau d'infiltration, ou bien endiguer cette dernière, abaisser son point d'émergence et la canaliser dans une autre direction, enfin, maintenir par un artifice, le niveau de la nappe d'infiltration à la hauteur qui correspond à la meilleure composition de l'eau thermale.

Le tubage de la fissure hydrothermale permet souvent d'éloigner les infiltrations en même temps que le débit augmentera, les frottements de l'eau contre le métal étant moindres que contre les couches du sol.

## CHAPITRE VI

---

### RECHERCHE DES SOURCES MINÉRALES

**Recherche.** — La formation d'une source minérale résultant de la circulation d'une nappe d'infiltration au contact d'un gisement salin, aucune règle ne peut être formulée si aucun de ces gisements, aucune source minéralisée n'est déjà connue dans la région.

Quand un de ces gisements salins — et par là, nous entendons aussi bien une masse exploitable qu'une argile, un gypse imprégné, — est connu, il faut, par l'étude de la stratigraphie géologique et de l'hydrologie souterraine du pays, rechercher la nappe d'infiltration en relation avec le gisement et la capter.

La recherche se fait comme nous l'avons indiqué dans la première partie de ce volume, pour les eaux douces, mais le captage et l'adduction nécessitent des précautions spéciales sur lesquelles nous aurons à revenir, — pour empêcher les infiltrations, s'il y a lieu, et protéger l'eau contre l'action chimique des conduites.

Le problème est beaucoup plus complexe quand aucun gisement salin n'est connu et souvent les dépenses en travaux de recherches resteront stériles.

Quelquefois l'étude de la stratigraphie géologique fera soupçonner la présence en profondeur d'une couche saline, mais encore faut-il que les eaux puissent y parvenir et remonter après minéralisation.

Dans bien des cas, on sera amené après avoir déterminé le gisement salin, à forer deux sondages, l'un, à un point relativement élevé comme altitude, pour lequel on fera descendre sur la masse saline les eaux d'un ruisseau ou d'une source captée dans ce but, — et un autre sondage à une cote inférieure pour recueillir l'eau minéralisée. Cela revient, en résumé à appliquer au gisement les procédés d'exploitation des salines par dissolution.

Souvent, des eaux d'infiltration, après avoir touché un gisement, viennent suinter à la surface du sol, et les oiseaux viennent s'y désaltérer de préférence à une eau douce. Cet indice a, à notre connaissance, amené la découverte de plusieurs sources salines inconnues jusqu'alors.

---

## CHAPITRE VII

—

### RECHERCHE DES SOURCES THERMO-MINÉRALES

**Recherche.** — D'une façon générale, les sources de cette catégorie émergent d'une faille dont une lèvre est imperméable et l'autre perméable, et hormis le cas des eaux échauffées par une cause d'origine volcanique, la thermalité est due à un trajet dans le sol à grande profondeur.

Si l'on considère le cas le plus général, celui d'une thermalité due au réchauffement par circulation profonde, il en résulte qu'une source thermo-minérale devra se trouver sur une *faille profonde*, et l'on est amené à chercher celle-ci.

Bien que ce ne soit pas une règle absolue, les failles profondes sont celles qui proviennent :

De la rupture d'une masse poussée horizontalement et avec des vitesses inégales à ses deux extrémités, aux époques tertiaire ou quaternaire. Les failles d'origine antérieure sont sans intérêt ;

D'un effondrement; et l'on portera les recherches sur les failles qui encadrent les parties du sol restées en relief ou exhaussées, surtout dans les dépressions situées en arrière ou à la périphérie des bassins tertiaires situés en avant.

Dans les régions où les manifestations volcaniques tertiaires ou quaternaires ont laissé des traces, entre autres : un sous-sol encore chaud, des fumerolles, — les sources thermo-minérales seront réparties sur les failles profondes et aussi sur des failles non profondes, le volcanisme suffisant dans bien des cas à leur donner la thermalité.

Il est assez rare que, dans les régions connues, la France, par exemple, on *découvre* une source thermo-minérale; presque toujours, les habitants ont connaissance d'une source d'eau chaude quelquefois remarquable par l'abondance ou l'odeur des gaz qu'elle rejette.

Dans ces conditions, et c'est le cas que nous envisagerons toujours dans la suite, la recherche de la source consiste non plus à découvrir son existence mais son griffon, c'est-à-dire le point de la faille par où elle émerge du sous-sol.

Ceci implique d'abord la reconnaissance de la faille souvent masquée par des dépôts sédimentaires, des éboulis, des alluvions, et l'examen des nappes d'infiltration froides.

L'étude de la faille exige tout d'abord la

reconnaissance géologique approfondie de la contrée dans un rayon de plusieurs kilomètres autour de la *source connue*, et l'établissement de coupes stratigraphiques. Ces premiers jalons donneront des indications générales sur la direction et l'inclinaison de la faille que des travaux de tranchées ou de sondages préciseront en permettant de relever plusieurs points de la ligne de fracture.

L'emplacement de la faille reconnu, on établira sans peine le point d'intersection le plus bas de la fracture avec le relief topographique du sol. C'est en ce point que normalement l'eau doit sortir de la faille et que le débit est maximum.

Néanmoins, il est fréquent que le griffon soit à un point d'altitude plus élevé, l'écoulement des eaux ayant été gêné par un obstacle, souvent une incrustation. Cet obstacle peut quelquefois être supprimé.

La détermination du trajet souterrain de l'eau sera facilitée par l'analyse chimique des roches ; la comparaison avec les éléments de l'eau montrera où celle-ci s'est minéralisée.

Les sondages auxquels on est forcé d'avoir recours, la plupart du temps, fournissent plusieurs enseignements : la pression de l'eau, la direction du courant, les divers filets liquides dont la réunion forme la source proprement



dite, les nappes d'infiltration froides et leur régime.

La combinaison de ces divers éléments permet de déterminer exactement la cote du plan de captage par la connaissance du débit nécessaire.

Souvent, l'influence d'un massif dégageant des émanations se fait sentir fort loin, comme c'est le cas pour les sources de Saint-Honoré, Bourbon-Lancy, Pougues et Fourchambault.

Les sources de *Saint-Honoré-les-Bains* (Nièvre) de *Bourbon-Lancy* (Saône-et-Loire) sont sur le prolongement des failles N.-S. qui limitent la Limagne.

A Saint-Honoré, les eaux sortent d'une faille tufs orthophyriques et calcaires à entroques : les tufs sont recoupés par de nombreux filons de micro-granulite.

Les eaux de Bourbon-Lancy sont amenées par une faille schistes et quartzites dévoniens — elles sortent le long d'un filon de quartz.

La source de Saint-Honoré est à 272 mètres d'altitude ; elle a la composition donnée au tableau de la page suivante,

Les eaux de Bourbon sortent à l'altitude 240 mètres et, suivant les sources, on constate des températures comprises entre 46 et 56° C. Ce sont des eaux chlorurées sodiques dont 1<sup>er</sup>,30 de NaCl par litre et renfermant en tout 2<sup>er</sup>,27

de produits salins. Leur débit est de 280 000 litres par 24 heures.

*Saint-Honoré-les-Bains*

Composition	Grammes par litre
NaCl. . . . .	0,38
NaBr. . . . .	0,002
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,06
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,004
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,037
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,08
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,007
HIS libre . . . . .	0,07
Température . . . . .	31° C.
Débit. . . . .	970 000 litres par 24 h.

*Pougues et Fourchambault* (Nièvre) sont les derniers jalons au Nord du prolongement des fractures N.-S. de la Limagne, et limitent dans cette direction, les manifestations gazeuses volcaniques de l'Auvergne.

Les eaux remontent dans une faille entre le callovien et le bajocien. Le rejet du callovien est de 100 mètres. La plaine de Pougues est limitée à l'ouest par la faille de Soulangy.

Les eaux chaudes arrivées à 65 mètres du sol remontent le calcaire à entroques bajocien, diaclasique, dans lequel elles s'éparpillent.

De ce fait, la teneur en alcali diminue en faveur de la teneur en chaux d'autant plus que l'on s'éloigne de la faille. Cette diminution est de 0<sup>gr</sup>,752 entre les sources Saint-Léon et Elisabeth respectivement distantes de la faille de 190 mètres et 255 mètres.

L'altitude est 200 mètres et les eaux sortent à la température de 12° C.

La composition est bicarbonatée mixte avec 1<sup>gr</sup>,66 de bicarbonate pour une teneur saline totale de 4<sup>gr</sup>,53.

---

## CHAPITRE VIII

—

### CAPTAGE

#### DES SOURCES THERMO-MINÉRALES

**Captage et adduction.** — En général, les eaux minérales sont froides et exemptes de gaz ; elles arrivent sans pression et s'écoulent à la surface du sol.

Les travaux de captage consisteront à recevoir l'eau dans un puisard en briques recouvertes de ciment romain pour arrêter les infiltrations — si la source s'épand naturellement à la surface du sol.

Mais souvent le manque de pression de l'eau oblige à pomper le liquide. En ce cas, on établit un sondage tubé jusqu'à la nappe d'eau et l'on monte une pompe au-dessus.

Les eaux sont amenées à un bassin de décantation pour laisser déposer les particules solides qu'elles renferment en suspension et de là, soit à la *source publique*, soit à l'atelier d'embouteillage.

Les conduites d'adduction sont en maçonnerie enduite de ciment romain ou en métal. On donne généralement la préférence au fer sur le plomb ; le premier s'altère plus rapidement et demande des changements plus fréquents, mais si l'on tient compte des densités et prix, l'avantage lui reste néanmoins.

Des difficultés que nous n'avons pas encore rencontrées vont se présenter qui s'ajouteront, dans chaque cas, à celles de la recherche de la faille et du griffon. Il convient, en effet, d'assurer à la source le débit prévu et de maintenir la température, la minéralisation, tout en empêchant la perte des gaz qui sortent en même temps que l'eau.

Les méthodes employées varient suivant que l'on peut ou non mettre le griffon à jour et aussi avec d'autres éléments du problème.

Nous indiquerons les procédés admis aujourd'hui dans la pratique en commençant par le plus simple pour considérer ensuite des captages de plus en plus difficiles.

Dans la plupart des cas, de véritables travaux miniers : puits, galeries, etc., seront entrepris. Leur conduite différera peu de ce qu'ils sont dans les mines proprement dites et, dans un chapitre spécial, nous indiquerons les particularités qu'ils présentent et les précautions particulières qu'ils nécessitent,

**Captage sur griffon mis à jour.** — Les terrains meubles supposés peu épais, sont enlevés de façon à mettre à nu les fissures thermales. Dans la roche de la faille, on creuse une chambre dont les dimensions sont telles que toutes les fissures y aboutissent et suffisamment profonde pour faire une réserve d'eau.

On se protège contre les infiltrations froides par un cuvelage dont la nature dépend de l'état des roches et de la température des eaux thermales.

En roche dure non fissurée, une application de béton suffit ; si la roche est fissurée, on garnit les fissures d'argile et, par-dessus, on établit tant sur le fond que sur les côtés, une paroi en briques que l'on recouvre d'une couche de ciment romain de 5 millimètres d'épaisseur.

Un couvercle métallique s'opposera à la fuite des gaz.

Si la température de l'eau thermale est voisine de la température ambiante, un simple cuvelage en bois suffit.

Il faut éviter de travailler la roche à la dynamite dont les explosions peuvent provoquer de nouvelles fissures.

Quand on ne peut, tout en mettant le griffon à nu, creuser dans la roche une chambre de captage, on place celle-ci sur le sol et on la relie au griffon par un tube dont l'extrémité inférieure

s'enfonce dans la faille. A l'intérieur de ce tube, on en place un second de diamètre moindre qui servira à conduire l'eau et l'on remplit de ciment l'espace annulaire qui sépare les deux tubes.

Un griffon débouchant dans un terrain meuble ou dans les roches très tendres est susceptible de recevoir les eaux froides de la surface du sol qui s'infiltrent au travers de la couche perméable.

Les travaux de protection consistent souvent dans l'établissement d'une série de remparts fermés, concentriques, sortes de boîtes entrées les unes dans les autres, ouvertes seulement sur la face inférieure.

Au-dessus du griffon lui-même, on monte une sorte de cheminée en maçonnerie, ouverte par le haut, pour le passage des eaux, et, sur le sol, on établit un plancher étanche en maçonnerie. De distance en distance, des enveloppes de maçonnerie, cylindriques par exemple, partent du plancher et s'enfoncent dans le sol ; la plus rapprochée du griffon jusqu'au niveau de captage et les autres d'autant moins profondément qu'elles en sont plus éloignées.

Nous avons supposé, jusqu'ici, que les fissures thermales reconnues sur la faille au-dessous de l'excavation pratiquée dans le terrain meuble, avaient un débit suffisant. Ce n'est pas toujours

le cas, soit que la roche étant fissurée, les eaux s'éparpillent, soit que la venue se faisant par une série de fissures éloignées les unes des autres, il faille en capter plusieurs pour assurer le débit demandé.

Bien que le griffon soit mis à jour, l'entreprise sera plus complexe et les travaux plus longs et plus importants.

On sera conduit à aller chercher les fissures ou groupes de fissures, à les isoler du sol environnant, à canaliser leurs eaux jusqu'à une conduite centrale d'extraction. L'exploitation se fera donc avec galeries d'allongement ou travers bancs pour rejoindre les groupes de fissures — et puits d'extraction pour amener à la surface les eaux accumulées au-dessous de lui.

Cette méthode s'applique très bien au cas d'une fracture dans un terrain perméable. On perce une galerie dans la roche perméable parallèlement à la faille ; les parois sont rendues étanches et, de distance en distance, on perce, dans la masse, des ouvertures débouchant dans la faille le long des joints d'infiltration. En prolongeant suffisamment la galerie, on assure le débit requis.

Lorsque la faille est enfouie dans une montagne et n'en recoupe pas les flancs, un travers banc à une cote convenable recoupera le filon thermal et pourra être établi pour amener l'eau au jour.



Dans les deux cas que nous venons d'indiquer qui se traduisent par la recoupe de la nappe thermale par un travers banc, il faut arrêter les travaux d'avancement avant le but, sans quoi on s'expose à des infiltrations chaudes, à des dégagements gazeux, gênants pour les ouvriers, et surtout à un coup d'eau, renversant le front de taille et brûlant et noyant l'équipe.

Pour parer à ces dangers, l'abatage est précédé d'un trou de sonde très profond. Les carottes permettent de suivre la marche du travail.

Au moment où l'on croit arriver à la faille, on établit sur l'ouverture du trou de sonde une conduite métallique débouchant à l'entrée du travers banc. Cette conduite est faite de deux branches placées dans le même plan vertical, l'une incurvée vers le bas qui servira à l'écoulement des eaux et l'autre située au-dessus, rectiligne, par laquelle on fait manœuvrer la sonde.

Lorsque les eaux jaillissent, les débris du sol et les eaux s'échappent par la branche inférieure. Par la branche supérieure, on manœuvre la sonde pour achever de forer la roche jusqu'à la faille.

**Captage par surcharge.** — La surcharge peut être obtenue à l'aide de matériaux solides ou à l'aide d'eau.

Les Romains ont très souvent appliqué la première de ces méthodes en employant le béton ; l'ingénieur François, en 1838, utilisa, pour la première fois, une nappe d'eau comme surcharge et créa la méthode dite des *pressions hydrostatiques réciproques*.

**Surcharge en béton.** — Bien que ce procédé soit abandonné, nous en indiquerons le principe, car nombre de sources thermales actuellement exploitées utilisent encore les captages par surcharge faits par les Romains.

Supposons une station alimentée par un certain nombre de griffons débouchant dans des conditions telles que l'on ne peut facilement les travailler en place, et que l'on veuille soit augmenter le débit de certains, soit amener l'eau de certains à un niveau plus élevé.

Les Romains barraient le lit d'écoulement, en aval, à l'aide d'une digue en maçonnerie de béton, s'enfonçant dans le sol jusqu'à la roche en place autant que possible, puis appliquaient une nappe de béton obstruant tous les griffons, sauf ceux à conserver. La nappe de béton faisait corps avec le barrage et la roche du fond et constituait une cuve de réception des eaux, lesquelles ne pouvaient s'échapper que par les griffons conservés.

**Surcharge par l'eau ou méthode des pressions hydrostatiques réciproques.** — Cette méthode est fondée sur ce fait d'expérience acquis qu'une colonne d'eau minérale et une colonne d'eau ordinaire séparées par une cloison poreuse ne se mélangent pas si leurs hauteurs sont entre elles comme leur densité.

Ceci explique comment on peut, au bord de la mer, avoir un puits d'eau douce si le forage est fait en un point tel, que le niveau de la mer soit plus élevé que celui de l'eau dans le puits.

L'application de la méthode de l'ingénieur François a permis d'employer les nappes d'eau douce, lacs, rivières, à la récolte d'eaux minérales ou thermales et de faire cesser les perturbations apportées au régime d'une source par une nappe douce voisine, en utilisant justement cette nappe pour créer la surcharge nécessaire à la récolte de l'eau thermale.

Cette méthode consiste à régler artificiellement le niveau de l'eau douce à une hauteur reconnue convenable, soit en modifiant son niveau, soit en faisant, entre les griffons à utiliser et elle, une dérivation douce dont on règle le niveau à la hauteur voulue à l'aide de vannes.

**Captage par sondage.** — Si l'on ne peut utilement employer l'une des méthodes précédemment indiquées, ou si, pour assurer à l'eau la thermalité ou la minéralisation requise, il

faut atteindre le filon à grande profondeur, la méthode par sondage est indiquée.

Le sondage est fait avec le matériel et d'après les procédés ordinaires ; la différence n'apparaît que dans les précautions à prendre pour recueillir l'eau.

Tout d'abord, le trou de sondage sera tubé tant pour se protéger contre les infiltrations froides, latérales, que pour éviter la désagrégation du terrain environnant et accroître le débit en diminuant les frottements de la colonne d'eau contre les parois enveloppantes.

L'avant-puits est bétonné et le bout inférieur du tubage est percé de nombreuses ouvertures pour permettre l'arrivée des eaux thermales à l'intérieur. Afin de forcer l'eau à remonter par le tubage sans s'éparpiller autour, on aura souvent intérêt à noyer le tubage dans du ciment.

Lorsque le sondage rencontre des terrains glissants ou des nappes froides, on fore toute l'épaisseur de la couche et l'on remplit de ciment le trou de sonde sur toute la hauteur de cette couche, après quoi, on fore un nouveau trou dans le ciment, on tube et on poursuit le travail.

Les tubes noyés dans du ciment en contact permanent avec des eaux d'infiltration ont une durée relativement courte, et le ciment lui-même s'effrite à la longue.

On obvie à cet inconvénient en tubant le trou de sonde comme nous l'avons indiqué, en plaçant un second tubage concentrique au premier et en coulant du ciment dans l'espace annulaire ; la remontée de l'eau se fera par le tube central.



## CHAPITRE IX

### MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES CAPTAGES DES SOURCES MINÉRALES ET THERMO-MINÉRALES

Les travaux de captage doivent être faits en matières susceptibles de résister longtemps aux actions chimiques exercées par les eaux minérales et thermo-minérales.

C'est ainsi que l'on boîsiera les galeries en chêne, et que l'on fera, en même bois, les cuvelages des chambres de captage, mais, dans ce dernier cas, pour les eaux froides seulement.

Dans les travaux de maçonnerie, on utilisera la brique et les parois seront recouvertes d'un enduit de ciment romain de 5 millimètres. Le béton pourra être employé.

On pourra faire varier la nature des enduits protecteurs des maçonneries en se basant sur les données acquises par la pratique des travaux marins.

Les tubages des sondages sont généralement

de fer ; on emploie le cuivre quand les eaux sont très chlorurées, très corrosives.

Le plomb est employé assez souvent dans les canalisations, bien qu'en général son emploi entraîne à des dépenses supérieures à celles du fer.

L'emploi de tubes en bois de chêne enduits de ciment est peu répandu en raison de leur grand diamètre.

Les tubes en poterie de grès vernissé sont fréquemment employés pour conduire les eaux à l'établissement (voir p. 179).

---

## CHAPITRE X

---

### CANALISATION DES EAUX MINÉRALES

Que les eaux soient amenées de la profondeur par un sondage ou que le griffon débouche dans une chambre de captage, il faut les conduire de leur point d'émergence définitive aux différents points d'utilisation par une canalisation en une matière appropriée à la nature de l'eau.

Si les eaux débouchent dans une chambre, la canalisation utilise un siphon dont une branche est dans la chambre.

On peut aussi prendre directement l'eau sur la tête du tubage.

Mais, dans l'un et l'autre cas, le siphon ou la tête de la canalisation doivent être de petit diamètre.

Un robinet placé au début de la canalisation permet d'interrompre la circulation des eaux pour éviter le gaspillage.

Il est préférable de faire aboutir l'extrémité de la canalisation en *dessous* du récipient final plutôt que de la faire arriver par le dessus.



Soit pour refroidir les eaux par mélange avec des sources froides, soit pour faire déposer les matières terreuses qu'elles tiennent en suspension, on fait passer le circuit dans des bassins en maçonnerie ou en métal.

On recueillera dans ces bassins des boues qui, dans certains cas, ont leur emploi thérapeutique.

---

## CHAPITRE XI

—

### MONOGRAPHIE DES PRINCIPALES SOURCES THERMALES ET THERMO-MINÉRALES

Nous avons indiqué au cours des précédents chapitres les règles générales qui président à la recherche rationnelle des sources de cette nature et le principe des méthodes de captage susceptibles d'être employées suivant les circonstances locales.

Dans les monographies qui suivent et sont consacrées aux sources françaises, principalement, nous indiquerons l'altitude de la station, la nature de la faille d'où jaillissent les eaux, le mode de captage, la composition et la température de l'eau, la composition des boues quand elles sont utilisées.

Le manque de place s'oppose malheureusement à une description détaillée de chacune de

ces installations, mais le lecteur pourra, à cet égard, très utilement consulter l'ouvrage de de Launay mentionné à l'index bibliographique.

Nous classons les exemples qui suivent dans l'ordre des méthodes de captage décrites précédemment.

### CAPTAGE SUR GRIFFON

**Maizières (Côte-d'Or).** — Elle émerge d'une faille dans la micro-granulite au contact des tufs orthophyriques du culm, nombreux dans la région, près d'un filon de porphyre globulaire.

Le griffon est au fond de la vallée et recouvert d'alluvions sur une épaisseur de 1 mètre.

Méthode de captage par fosse cuvelée en bois et fermée par une dalle.

Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	2,77
KCl . . . . .	0,25
LiCl . . . . .	0,069
Température . . . . .	20° C.

**Bourbon-l'Archambault (Allier).** — La source émerge d'une faille N.-E., tapissée de cris-

taux de fluorine, galène, pyrite, recoupant l gneiss au fond de la vallée.

Captage par 3 fosses cylindriques, en maçonnerie et béton de 2 mètres d'épaisseur sur griffons découverts.

Altitude : 270 mètres.

Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	1,77
LiCl . . . . .	0,01
NaBr. . . . .	0,004
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,09
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,35
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,15
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,47
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,28
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,004
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,37
Température . . . . .	53° C.
Débit. . . . .	1 000 m <sup>3</sup> par 24 h.

**Évaux (Creuse).** — Les eaux jaillissent au contact d'un filon de quartz dans le gneiss;

Altitude, 460 mètres.

Chambre de 60 mètres de longueur, 60 mètres de largeur, 15 mètres de profondeur ; maçonnerie de 3<sup>m</sup>,50 d'épaisseur.

Les griffons débouchent dans des cheminées en maçonnerie ou en plomb.

Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	0,24
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,03
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,82
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,02
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,12
KOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,07
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,004
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,03
Température . . . . .	56 <sup>o</sup> ,5 C.
Débit. . . . .	191 520 litres par 24 h.

**Néris (Allier).** — Les eaux sortent le long des parois d'un filon de quartz situé à flanc de coteau, près d'une dislocation tertiaire.

Même mode de captage qu'à Évaux.

Altitude : 260 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	0,48
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,10
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,36
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,04
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,31
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,09
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
CO <sup>2</sup> . . . . .	0,04
Température . . . . .	52 <sup>o</sup> C.
Débit. . . . .	1 000 000 litres par 24 h.

**Chatelguyon (Puy-de-Dôme).** — Les sources sortent des diaclases d'un massif granitique surélevé au-dessus du terrain oligocène par deux failles qui l'entourent. Une faille les amène des profondeurs. Les griffons sont dans un ravin ; captage par trous de sonde dans les diaclases du granite.

La récolte des gaz se fait dans une conduite branchée par de nombreuses prises sur la conduite d'amenée des eaux dans laquelle débouchent les tuyaux de métal placés dans chaque sondage.

Altitude : 400 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	1,75
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,62
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	2,01
FeOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,05
CO <sup>2</sup> . . . . .	0,276
Température . . . . .	27 à 33° C.
Débit. . . . .	720 000 litres par 24 h.

**Vals (Ardèche).** — Une faille granulite gneissique et calcaire jurassique amène les eaux au jour, le long d'un filon de quartz pyriteux.

Captage par un sondage sur le griffon ; un

massif de maçonnerie de 7 mètres de profondeur sépare le sondage des alluvions superficielles.

Altitude : 200 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	4,16
KOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,16
LiOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,04
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,61
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,52
MnOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,04
NaCl . . . . .	0,11
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,11
CO <sup>2</sup> . . . . .	2,66
Température . . . . .	26° C.

**Aulus (Ariège).** — La vallée du Garbet, à Aulus, recoupe un synclinal de trias, oolithe, néocomien qui bute contre des schistes talqueux et lustrés remplis de veinules de quartz et très anciens. Les couches de schistes sont redressées et livrent passage aux eaux qui sortent d'une couche meuble épaisse d'une dizaine de mètres.

Des excavations mirent à jour cinq groupes principaux de griffons et l'on creusa une grande tranchée au fond de laquelle toutes les eaux débouchent.

La tranchée fut maçonnée, consolidée par des murs en béton et recouverte.

Altitude : 776 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	0,003
KCl . . . . .	0,003
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,02
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,01
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	1,86
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,11
CO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
Température . . . . .	20° C.

**Vittel (Vosges).** — La formation des Vosges, comme celle de la Forêt Noire résulterait d'un effondrement à l'époque oligocène creusant la vallée du Rhin.

La minéralisation des eaux de ce bassin résulte du lavage des couches triasiques par les eaux.

A Vittel, les eaux sortent des fissures du Muschelkalk recouvert par des argiles sur lesquels coulent les eaux d'infiltration froides.

On obtient facilement une source dans cette contrée en forant jusqu'au Muschelkalk au travers l'argile : c'est ainsi qu'on a fait à Vittel.

Un puits étroit fut conduit jusque dans le Muschelkalk et tubé en poterie vernissée.



Pour se préserver des infiltrations froides, on isola le tubage par un cuvelage en métal entouré lui-même d'une garniture en ciment.

Altitude : 336 mètres	
Composition	Grammes par litre
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,18
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,54
NaCl . . . . .	0,10
MgCl. . . . .	0,54
Température . . . . .	11° C.

**St-Gervais (Haute-Savoie).** — Les eaux sortent des calcaires dolomitiques du trias sou-

Altitude : 575 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	1,75
NaBr. . . . .	0,03
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	1,773
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,108
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,95
MgOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,07
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,15
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,004
CO <sup>2</sup> . . . . .	0,05
Température . . . . .	40° C.
Débit. . . . .	144 000 litres par 24 h.

vent gypseux, recouverts par le terrain glaciaire et disloqués par des failles N.-S.

La roche en place a été atteinte par un puits maçonné et l'on s'est protégé par une série de trois couronnes en maçonnerie partant d'un plancher en ciment et descendant jusqu'à la roche.

**Vichy (Allier).** — Cette dénomination comprend un certain nombre de sources réparties en des localités souvent distantes de plusieurs kilomètres de la célèbre ville d'eaux.

Les sources thermales de ce bassin sont sur la grande faille N.-S. partant de Thiers et limitant la Limagne, sur les bords de l'Allier ; c'est à Cusset, près Vichy, que se terminent, à l'Ouest, les accidents du Forez caractérisés par une série de pointements basaltiques, dans le carbonifère, le long de la vallée du Sichon, suivant la direction Montbrison-Cusset et passant par le filon de la Source des Célestins.

Des cassures parallèles à la grande faille doivent exister le long de l'Allier, de Vichy à Haute-ri-ve.

Les sources sont groupées autour de St-Yorre, de Haute-ri-ve et de Vichy.

Le sous-sol est formé de couches de sable intercalées dans des arkoses sannoisiennes, qui, à Vichy, sont recouvertes par les marnes tongriennes et des calcaires aquitaniens.

Il en résulte la formation de plusieurs nappes hydrothermales indépendantes les unes des autres.

L'origine des eaux est au plateau situé à l'Est de Vichy d'ou elles pénètrent à l'intérieur du sol ; l'acide carbonique libre est d'origine volcanique et la soude est empruntée aux feldspaths des arkoses et des tufs.

L'arrivée au jour se fait dans des cheminées tapissées de dépôts hydrothermaux, au milieu de marnes fissiles et d'alluvions, aussi les griffons sont-ils très mal déterminés.

La source de la Grande Grille jaillit d'une cheminée d'aragonite de 0<sup>m</sup>,53 de diamètre extérieur par un orifice mesurant 0,023 × 0,011 à la surface et 0,035 × 0,025 à 3 mètres de profondeur.

La source des Célestins sort d'un dyke de travertin à feuillets verticaux et celle de l'Hôpital entre une masse de travertin et des marnes tertiaires.

*Captage de l'Hôpital.* — Un puits de 2 mètres de profondeur surmonté d'une vasque a été creusé dans le travertin.

*Captage des Célestins.* — L'eau est amenée par une amorce de galerie dans un puits de 4 mètres de profondeur creusé dans le travertin : la maçonnerie est très épaisse et rendue étanche

*Captage de l'Hôpital*

Altitude : 260 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaO . . . . .	2,50
KO . . . . .	0,21
LiO . . . . .	0,003
CaO . . . . .	0,22
MgO . . . . .	0,02
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,26
CO <sup>2</sup> combiné . . . . .	2,14
HCl . . . . .	0,35
SO <sup>3</sup> HO . . . . .	0,18
PhO <sup>7</sup> . . . . .	0,02
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,06
AsO <sup>5</sup> . . . . .	0,0005
Température . . . . .	34° C.
Débit . . . . .	50 000 litres par 24 h.

*Captage des Célestins*

Altitude : 260 mètres	
Composition	Grammes par litre
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	1,77
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	3,12
KOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,23
LiOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,02
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,50
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,07
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,27
NaCl . . . . .	0,53
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,04
Température . . . . .	44° C.

par l'application d'une couche de ciment de 5 millimètres.

L'Allier très proche, et dont le niveau est à peu près le même, envoie des infiltrations difficilement combattues par des barrages en béton.

*Captage de la Grande Grille.* — La cheminée de sortie des eaux fut coupée à 3<sup>m</sup>,40 de profondeur en dessous du sol puis surmontée d'un tube de cuivre étamé.

Altitude : 260 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaO . . . . .	2,44
KO . . . . .	0,15
LiO . . . . .	0,03
CaO . . . . .	0,13
MgO . . . . .	0,02
FeO . . . . .	0,001
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,28
CO <sup>2</sup> combiné . . . . .	2,05
HCl . . . . .	0,35
SO <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O . . . . .	0,18
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,05
AsO <sup>3</sup> . . . . .	0,0005
Température . . . . .	43° C.
Débit. . . . .	112 000 litres par 24 h.

**Cauterets (Hautes Pyrénées).** — Lessources sont dans la vallée et situées les unes dans du granite amphibolique, les autres dans des schistes siliceux, des calcschistes dévoniens avec

lentilles de marbre. Le dévonien est métamorphosé par le granite.

Les eaux, amenées par des fissures N.-E., s'écoulent au contact de filons de microgranulite, de diabases et surtout de porphyrite orientés E.-O.

La source César suintait dans des éboulis : une galerie poussée jusqu'au schiste trouva une fente avec source thermique.

La source Rocher fut captée de même par une galerie rejoignant le contact des schistes et d'un dyke éruptif.

Altitude : 130 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaS . . . . .	0,02
NaOSO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,03
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,006
NaCl . . . . .	0,06
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,045
NaOSiO <sup>2</sup> . . . . .	0,028
Température . . . . .	50° C.
Débit. . . . .	210000 litres par 24 h.

**Uriage (Isère).** — Les sources sulfurées sodiques, rares dans les Alpes, sont froides, tandis que, dans les Pyrénées, les sources de même nature sont chaudes.

Les eaux après s'être minéralisées dans les marnes triasiques remontent dans les schistes calcaires liasiques.

Le sol est recouvert d'alluvions.

Les eaux sont captées par un puits de 6<sup>m</sup>,15 de profondeur taillé dans le lias et débouchant dans une galerie d'adduction.

Altitude : 414 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	6,11
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,03
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	1,53
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,14
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	1,05
MgOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,48
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,32
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,09
Température . . . . .	27° C.
Débit. . . . .	420 000 litres par 21 h.

**Lamalou (Hérault).** — Parmi les filons de quartz qui sillonnent le keuper et les schistes siluriens, les eaux suivent de préférence les plus récents, les moins riches en plomb, pyrite de cuivre, mispickel et barytine. Elles ont décomposé les schistes, creusé des cavités en chapelets, tapissé les parois de dépôts où l'on retrouve les éléments métalliques des filons quartzeux.

Pour saisir le griffon, il fallait recouper la colline pour atteindre le filon : un travers banc prolongé par une galerie en direction y conduisit et amena les eaux.

Altitude . . . . . 190 mètres

*Composition.* — Ces eaux sont bicarbonatées ; elles renferment 0,01 de carbonate de fer maintenu en solution par l'excès d'acide carbonique gazeux et des traces de nickel, cobalt, plomb, cuivre, arsenic.

**St-Jean du Gard (Gard).** — Un filon de quartz et les filons de cette nature sont nombreux dans la région, canalise les eaux au contact du granite.

Un travers banc partant de la vallée recoupe le filon de quartz sous la montagne ; les eaux captées par une galerie d'allongement sont amenées dans la plaine.

**Anthieu (Nièvre).** — La région est recouverte des sables et graviers de Chagny en dessous desquels on trouve le jurassique supérieur, le jurassique moyen, le lias puis des couches triasiques. C'est dans ces dernières, riches comme on le sait, en amas gypseux et marnes magnésiennes, et près de Pouques que les eaux se minéralisent. Elles sortent à 10 kilomètres environ de Pouques, dans une faille N.-E.-S.-O., au contact des calcaires jurassiques.



Nous citons cette source en raison de la rareté en France des eaux sulfatées magnésiennes.

Altitude : 269 mètres	
Composition	Grammes par litre
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,0114
CaO <sup>2</sup> CO <sup>2</sup> . . . . .	0,9332
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,0130
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,8160
MgOSO <sup>3</sup> . . . . .	3,5955
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,1760
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,2347
NaOAzO <sup>5</sup> . . . . .	traces notables
NaCl . . . . .	0,0668
LiCl . . . . .	0,0085
Matières organiques . . . . .	0,0035
Température . . . . .	20° C.
Débit. . . . .	172 800 litres par 24 h.

CAPTAGE PAR PRESSION

**Plombières (Vosges).** — 45 sources fournissent, en 24 heures, 730 mètres cubes d'eaux minérales dont la température, suivant les sources, varie de 11 à 69°,5 C.

Les sources à 69°,5 C. sortent dans la vallée, celles dont la température est comprise entre 49- et 55° C. sont à flanc de coteau et les autres

à une altitude encore plus élevée. Ces dernières sont désignées sous le nom de *sources savonneuses* en raison de leur toucher onctueux du à l'absence d'éléments calcaires et à l'abondance des dépôts d'halloysite coloré en rose par du silicate de manganèse.

Les eaux arrivent au contact de filons de quartz et de filons de fluorine qui s'entrecroisent dans le granite porphyroïde.

Les sources chaudes sourdent au travers d'alluvions très épaisses : les autres, dans la roche en place.

L'épaisseur des alluvions empêchant d'atteindre le griffon, les Romains, dont les travaux sont utilisés encore de nos jours, surchargèrent certains griffons au profit d'autres à l'aide de nappes de ciment et de béton.

Les travaux romains consistent en un barrage en aval fait en béton de 3 mètres d'épaisseur, et reposant sur la roche : puis sur les alluvions, tout autour des suintements thermaux, une nappe de béton de plusieurs mètres d'épaisseur forme, avec le barrage et la roche, une chambre close où affluent les eaux qui ne sortent que par des ouvertures ménagées intentionnellement pour se rendre dans une piscine de 500 mètres cubes de capacité.

Aujourd'hui, les eaux sont captées sous le plancher de béton par une galerie de 2 mètres

de hauteur et 1<sup>m</sup>,60 de large qui les conduit à un réservoir souterrain d'où elles sont remon-  
tées par une pompe à vapeur à des réservoirs  
de réfrigération.

La galerie est en pierre de taille et le radier  
en béton.

La réfrigération est utile parce que certaines  
des sources affluentes ont une température de  
70° C.

Altitude : 421 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,0896
(CaO. MgO. FeO) CO <sup>2</sup> . . . . .	0,0309
NaO SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,0562
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,0707
(NaO. KO) SO <sup>3</sup> . . . . .	0,1338
(Na. L) Cl . . . . .	0,0142
NaO AzO <sup>5</sup> . . . . .	0,0080
NaO AsO <sup>5</sup> . . . . .	0,0002
Débit. . . . .	420,000 litres par 21 h.

**Bourbonne (Haute-Marne).** — Au point  
de vue géologique, Bourbonne est au fond d'un  
entonnoir qui a pu contribuer à la formation  
des sources.

Les couches du sol sont, de haut en bas ;  
Alluvions ;

Sables ;  
Grès infraliasique ;  
Marnes irrisées ;  
Bancs de calcaires dolomitiques intercalés  
dans les marnes irrisées ;  
Muschelkalk ;  
Sable quartzeux ;  
Argiles barriolées marneuses ;  
Grès bigarré.

Il est probable que, à une faible profondeur, on trouverait le granit qui forme des pointements à peu de distance de Bourbonne. La région est triasique et infraliasique, et les eaux sortent dans la vallée à la cote 255.

Dans cette vallée existe une faille qui permet aux eaux de pénétrer dans le sol, de remonter par les diaclases du grès bigarré pour se minéraliser dans les argiles barriolées qui renferment des nodules gypseux.

Ces eaux véhiculent des débris organiques de surface qui fournissent le soufre.

Les griffons sont sous une couche d'alluvions très épaisse.

Les captages romains encore utilisés consistent en un plancher de béton très étendu, soutenu par des pilotis, et en puits maçonnés ou tuyaux de plomb partant du sol pour s'enfoncer dans les alluvions et recueillir les eaux.

Altitude : 304 mètres	
Composition	Grammes par litre
(Na.K.Ca.Mg)Cl . . . . .	5,5728
LiCl . . . . .	0,088
NaBr. . . . .	0,0671
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	1,3550
(CaO . FeO . MnO,CO <sup>2</sup> . . . . .	0,0824
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,0604
Température . . . . .	41 à 65° C.
Débit suivant le puits. . . . .	De 29 à 173m <sup>3</sup> par 24 h.

**Ussat (Ariège).** — En ce point, l'Ariège coule dans une vallée étroite et recoupe un anticlinal jurassique. Des escarpements crétacés dominant la vallée et les sources qui se trouvent dans une brèche calcaire et paraissent venir de l'anticlinal jurassique.

Le trias qui émerge à 4 kilomètres d'Ussat doit se poursuivre sous l'anticlinal et minéraliser les eaux qui apparaissent dans les alluvions de la surface.

La rivière coule à 50 mètres des griffons et ses eaux, avant le captage de 1838, venaient, pendant les crues, se mélanger à celles des sources, au point de rendre ces dernières à peu près inutilisables.

C'est à remédier à cet état de choses que l'ingénieur François appliqua le principe des pressions hydrostatiques réciproques.

Cinq galeries furent creusées dans les berges de l'Ariège, à 15 centimètres au-dessus du niveau présumé des eaux thormales et, par des coups de sonde, on releva le niveau de celles-ci. Ces galeries furent ensuite réunies entre elles par un aqueduc souterrain de 107 mètres de longueur dans lequel on fit affluer les eaux provenant des sondages.

Entre cet aqueduc qui dessert l'établissement et l'Ariège, on établit une digue de 900 mètres de longueur utilisant 33 000 mètres cubes de matériaux et, entre l'aqueduc et la digue, un canal de dérivation de l'Ariège.

Composition	Grammes par litre
NaCl . . . . .	0,04
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,026
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,015
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,012
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,70
MgOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,19
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,14
(FeO, MnO, CO <sup>2</sup> . . . . .	0,001
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,002
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,01
Température . . . . .	38° C.
Débit. . . . .	820 000 litres par 24 h.

- Ce canal communique avec une rigole de 480 mètres de développement fermée à ses extré-

mités et faisant ceinture ouverte autour des sources de l'établissement.

Un jeu de vannes établi à l'origine et à la fin du canal de dérivation permet de maintenir à un niveau convenable les eaux de la rigole.

Quand la hauteur des eaux de la rigole fut à celle des eaux thermales comme 98 est à 102, valeur de la densité respective de ces eaux, le débit des sources augmenta et le niveau resta constant.

**Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).** — Les eaux météoriques d'infiltration ont circulé sous le calcaire de Saint-Ouen, dans les sables de Beauchamp et remontent à la surface par leur propre pression en se minéralisant au contact des gypses et des marnes gypseuses. Elles débouchent dans la berge ouest du Lac, en dessous du niveau des eaux, au contact du calcaire lacustre de Saint-Ouen et d'une couche de marne et sable infragypseux remaniés et contenant des nodules de gypse et des débris de toute nature.

Le captage a été réalisé en 1877.

Une cuve cylindrique, en bois, haute de 2<sup>m</sup>,50, sans fond, et munie de trous à sa partie inférieure, fut enfoncée dans la vase au-dessus des griffons principaux. Le captage des eaux issues de griffons secondaires, autour de la cuve, fut réalisé par un *filtre* formé d'un lit de tuyaux horizontaux enfouis dans la vase, séparés entre

eux par des pierres et débouchant dans la cuve.

Le filtre est séparé des eaux du lac par un toit en plomb recouvert d'argile.

La pression des eaux du lac fait refluer les eaux sulfureuses des griffons secondaires sous le toit de plomb et, par suite, dans la cuve.

Le bon fonctionnement et la protection contre les infiltrations des eaux du lac sont assurés par un siphon qui conduit l'eau à l'établissement.

**Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne).**  
— Les eaux sortent dans la vallée, au contact de filons de granulite, avec pyrite, tourmaline, émeraude, recoupant des schistes siliceux, macrifères et micacés alternant avec des calcschistes. Le sol est recouvert d'éboulis et d'alluvions.

Il s'y trouve des sources chaudes et des sources froides dont les eaux se mélangeaient.

Des galeries furent dirigées vers les griffons dans la roche en place en se guidant sur les suintements et les dépôts hydrothermaux ; puis des galeries transversales furent percées, pour concentrer les eaux des quatre sources que l'on connaissait.

Le captage des eaux froides fut réalisé par deux galeries, l'une parallèle au plan de contact de la granulite et des schistes et l'autre perpendiculaire à la stratification de ces derniers pour drainer les filets d'infiltration.



BAGNÈRES-DE-LUCHON (HAUTE-GARONNE) 175

Les eaux froides furent utilisées au captage des eaux chaudes par la méthode des pressions hydrostatiques.

La région des griffons sulfureux fut entourée par une galerie circulaire en maçonnerie épaisse, bétonnée et munie de regards pour le passage des eaux sulfureuses.

La pression sur les eaux sulfureuses était réalisée, d'une part par le béton et, d'autre part, par les eaux froides dont on réglait le niveau dans leurs galeries d'écoulement à l'aide de vannes.

Altitude : 630 mètres	
Composition	Grammes par litre
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,014
NaS . . . . .	0,076
NaOSO <sup>2</sup> . . . . .	0,003
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,006
KOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,009
NaCl . . . . .	0,09
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,03
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,0017
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,09
Température . . . . .	68° C.
Débit. . . . .	260 000 litres par 24 h.

## CAPTAGE PAR SONDAGES

**La Bourboule (Puy-de-Dôme).** — Les eaux arrivent des profondeurs par une faille irrégulière le long d'un massif granitique. L'autre lèvre de la faille est formée de haut en bas par :

Tuf trachytique dur,

Tuf lamelleux très dur,

Tuf cinéritique plastique et imperméable,

Brèche andésitique.

Altitude : 846 mètres	
Composition	Grammes par litre
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0,45
NaOCO <sup>2</sup> . . . . .	1,18
KOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,178
LiOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,02
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,11
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,04
FeOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,005
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,21
NaCl . . . . .	3,17
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,10
NaOAso <sup>5</sup> . . . . .	0,008
Température . . . . .	56° C.
Débit. . . . .	792 000 litres par 24 h.

Les eaux se répandent dans la brèche et

sont refoulées par le tuf plastique vers la partie supérieure de la faille.

Les captages sont faits par des sondages qui doivent atteindre la brèche andésitique ; le plus profond a 161 mètres.

**Saint-Yorre (Allier).** — La région renfermant une série de couches perméables séparés par des bancs d'argile imperméable, on doit s'attendre à trouver l'eau à des profondeurs variables d'un point à l'autre. Par contre, les recherches présentent peu d'aléas.

Voici les profondeurs où l'eau minérale fut trouvée :

Source Saint-Louis, n° 3 . . . . .	34 mètres
"  Saint-Charles, n° 2 . . . . .	45 "
"  Guerrier . . . . .	23 "
"  Saint-Charles, n° 1 . . . . .	29 "

*Captage Saint-Charles n° 2.* — Avant-puits de 0<sup>m</sup>,70 de hauteur en maçonnerie ; première partie du sondage tubé en fer de 3 millimètres sur une hauteur de 7<sup>m</sup>,80.

Le forage est tubé, pour la traversée des terrains perméables, de tuyaux en fer de 0<sup>m</sup>,21 de diamètre intérieur et d'une épaisseur de 3 millimètres.

Quand on arriva au niveau de 45 mètres, l'eau jaillit avec violence et ensabla le sondage sur une hauteur de 15 mètres.

On descendit un tubage de 165 millimètres de

diamètre intérieur, puis un second de 90 millimètres de diamètre intérieur et de 10 millimètres d'épaisseur.

Le premier tubage s'arrête au-dessus de l'eau et le second descend dans les sables aquifères. L'eau remonte par ce tubage central.

Du béton fut coulé entre les tubages extérieurs et du sable entre les tubages intérieurs.

Le tube siphonoïde de 0<sup>m</sup>,025 de diamètre est pris dans le tubage de 90 millimètres qui dépasse le sol de 75 centimètres ; il descend jusqu'à 20 mètres environ et se prolonge sur 2 mètres par un tube de 0<sup>m</sup>,030 de diamètre.

Altitude : 260 mètres	
Composition	Grammes par litre
NaO . . . . .	2,54
KO . . . . .	0,07
LiO . . . . .	0,005
CaO . . . . .	0,12
MgO . . . . .	0,02
FeO . . . . .	0,006
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> . . . . .	0,004
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	2,40
CO <sup>2</sup> combiné . . . . .	3,31
HCl . . . . .	0,31
SO <sup>3</sup> HO . . . . .	0,17
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0,01
AsO <sup>5</sup> . . . . .	0,001

**Bourbonne (Haute-Marne).** — Nous ne parlerons de ces sondages qu'en raison de la nature des matériaux employés pour résister à l'action de ces eaux très corrosives : bois et cuivre.

Ainsi le sondage des Thermes Civils et quatre autres sont tubés en bois, tandis que celui des Thermes et un autre sont tubés en cuivre.

*Captage des Thermes Civils.* — Le tubage est fait de bouts de 3 mètres de longueur, de 0<sup>m</sup>,10 de diamètre intérieur et de 0<sup>m</sup>,10 d'épaisseur. La matière première est de bois de chêne. L'assemblage à tabatière se fait sur 0<sup>m</sup>,06 de hauteur et, dans les joints, sont placées des rondelles de feutre suiffé.

Par-dessus les joints sont appliqués des anneaux de cuivre rouge de 0<sup>m</sup>,004 d'épaisseur et de 0<sup>m</sup>,022 de largeur rivetés en cuivre rouge et maintenus chacun par 16 clous de cuivre rouge de 0<sup>m</sup>,040 de longueur et de 0<sup>m</sup>,008 de diamètre.

Chaque anneau pèse avec ses accessoires métalliques 6<sup>kg</sup>,5.

On a tubé en introduisant à force un premier bout percé de trous sur sa hauteur et portant à sa base un tranchant obtus, puis, par dessus ce premier bout, un second ; on fit descendre le tout, puis on plaça un troisième bout, on assembla, fit descendre, et ainsi de suite. On coula du ciment entre le sol et le tubage.

Le prix de revient du tubage sur 43 mètres, non compris les frais de pose, fut de 542 francs.

*Captage des Thermes.* — Les bouts sont de cuivre rouge ; ils mesurent 5 mètres de longueur, 0<sup>m</sup>,69 de diamètre intérieur et 0<sup>m</sup>,005 d'épaisseur. Ils sont réunis par des manchons de même épaisseur et de 0<sup>m</sup>,20 de diamètre intérieur et à l'aide de 32 vis de cuivre rouge.

Les 5 mètres inférieurs portent chacun 162 trous circulaires de 0<sup>m</sup>,02 de diamètre.

La tête du tubage est terminée par une cavité conique, la grande base de 0<sup>m</sup>,30 de diamètre en haut pour faire retomber les graviers entraînés (voir p. 168).

---

## CHAPITRE XII

—

### UTILISATION DES BOUES ET DES CONFERVES

Les dépôts boueux d'origine minérale jouissent de propriétés dues à la réaction des matières organiques sur les éléments minéraux des eaux.

Ces dépôts peuvent faire partie intégrante du sol comme à Franzenbad, ou provenir de la décantation dans les bassins, à Uriage, Bourbonne, Dax, Balaruc, Aix, Saint Amand.

Voici la composition chimique de certaines boues :

**Franzenbad.** — Pour 100 parties de matière sèche.

NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	3,80
FeOSO <sup>3</sup> . . . . .	2,50
NaCl. . . . .	1,03
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,50
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3 SO <sup>3</sup> . . . . .	0,50
Acide humique. . . . .	2
Humus soluble dans l'alcool . . . . .	3,76
FeO . . . . .	8,85
SiO <sup>2</sup> . . . . .	4,3

182 UTILISATION DES BOUES ET DES CONFERVES

Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> . . . . .	2,95
MgO. . . . .	1,43
Substances végétales . . . . .	6,21
Acide humique soluble dans l'ammo- niaque . . . . .	12,32
Matières insolubles . . . . .	47,36

**Saint-Amand (Nord).** — Rappelons tout d'abord la composition des eaux de cette localité :

	Par litre
NaCl. . . . .	08 <sup>r</sup> ,09
SiO <sup>2</sup> . . . . .	0, 018
NaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0, 09
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0, 12
MgOSO <sup>3</sup> . . . . .	0, 085
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0, 16
FeOCO <sup>2</sup> . . . . .	0, 12
MgOCO <sup>2</sup> . . . . .	0, 03
CO <sup>2</sup> libre . . . . .	0, 005
Température. . . . .	25° C.
Débit pour 24 heures. . . . .	420 000 litres

Ces eaux sont minéralisées au contact d'une couche de schistes pyriteux situé dans le terrain carbonifère.

Les boues de St-Amand contiennent pour 100 :

HO . . . . .	57
SiO <sup>2</sup> . . . . .	30,5
CaO . . . . .	6,25
FeO . . . . .	5,80
Al <sup>2</sup> O <sup>2</sup> . . . . .	2,20
MgO. . . . .	1
Matières organiques . . . . .	15,40



**Viterbe.** — Les boues sulfureuses de Viterbe renferment pour 100 :

SiO <sup>2</sup> . . . . .	55
S. . . . .	22,73
FeOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,23
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	0,11
CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	0,08
CaCl. . . . .	0,006
Matières organiques . . . . .	21,03

Les boues ferrugineuses de Viterbe présentent la composition centésimale ci-dessous :

CaOCO <sup>2</sup> . . . . .	70,68
FeOCO <sup>2</sup> . . . . .	20,69
CaOSO <sup>3</sup> . . . . .	3,27
SiO <sup>2</sup> . . . . .	2,72
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> . . . . .	1,05
Matières organiques . . . . .	1,03

Les boues servent à donner des bains, soit dans des baignoires, soit dans des excavations du sol, si ce dernier est constitué par la boue elle-même.

Leur usage très répandu en Russie, Hongrie, Italie, l'est moins en France.

Les organismes végétaux désignés sous le nom de conferves, condensent les gaz et certains

184 UTILISATION DES BOUES ET DES CONFERVES

sels des eaux ; en outre, comme tous les végétaux, ils renferment de l'iode.

Les conferves sont appliqués en cataplasmes, et servent à donner des frictions, à Dax, Bagnères-de-Luchon et surtout à Nérès.

On donne, en Allemagne, des bains de conferves.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, passim.  
*Bulletin de la Société française de géologie*.  
*Annales des Mines*.  
*Statistique des eaux minérales*.  
DAUBRÉE. — *Les eaux souterraines*.  
DE LAUNAY. — *Recherche, captage des sources thermo-minérales*.  
DAUBRÉE. — *Géologie expérimentale*.  
*Dictionnaire de Durand-Fardel*.  
FUCHS et de LAUNAY. — *Gîtes minéraux et métallifères*.  
DARIÈS. — *Calcul des conduites d'eau*.  
DARIÈS. — *Calcul des aqueducs*.  
BOURSAULT. — *Recherche des eaux potables*.  
MIRON. — *Les Huiles minérales*.  
WURTZ. — *Dictionnaire de Chimie*.
-

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION . . . . .	5
Les eaux météoriques . . . . .	7
Composition chimique des eaux météoriques. . . . .	9
Évaporation . . . . .	11
Ruissellement . . . . .	13
Torrents et rivières . . . . .	16
Transport des matières du fond . . . . .	18
Composition des terrains imperméables . . . . .	20
Absorption par le sol . . . . .	22
Nappes artésiennes . . . . .	24
Imprégnation du sol par imbibition . . . . .	24
Imprégnation par remplissage des vides . . . . .	25
Imprégnation par les diaclases . . . . .	26
Composition des terrains perméables . . . . .	27
Écoulement des eaux souterraines . . . . .	28
Poches et seuils d'écoulement . . . . .	29
Niveau hydrostatique . . . . .	30
Profil d'une vallée suivant la perméabilité des versants . . . . .	31
Aspect d'une contrée d'après la configuration du sol . . . . .	33
Action des eaux sur les roches et les minerais . . . . .	35
Flore spécifique des différents terrains. . . . .	40
Tableau synoptique des périodes géologiques. . . . .	42
Stratigraphie géologique . . . . .	53
Allure des nappes d'infiltration . . . . .	59
Méthodes de recherche des sources . . . . .	62
Évaluation de la quantité d'eau captable . . . . .	70
Captage par tranchées et puisards . . . . .	71

	Pages
Captage par puits . . . . .	75
Adduction des eaux au point d'utilisation . . .	86
Calcul de la canalisation . . . . .	87
Captage des eaux pour l'alimentation des villes.	89
Adduction des eaux pour l'alimentation des villes . . . . .	93
Galeries filtrantes. . . . .	96
Puits artésiens . . . . .	99
Eaux minérales et eaux thermo-minérales. . .	103
Genèse et remontée des eaux minérales . . .	105
Degré géothermique . . . . .	107
Lignes isogéothermes . . . . .	108
Rôle du griffon . . . . .	112
Éléments chimiques des eaux minérales . . .	114
Dépôts minéraux, végétaux, organiques des eaux minérales. . . . .	116
Modes de minéralisation des eaux. . . . .	118
Mesure du débit d'une source . . . . .	124
Variation du débit . . . . .	125
Infiltrations. . . . .	129
Recherche des sources minérales . . . . .	130
Recherche des sources thermo-minérales. . .	132
Saint-Honoré-les-Bains (Nièvre). . . . .	135
Bourbon-Lancy (Saône-et-Loire). . . . .	135
Pougues-les-Eaux (Nièvre). . . . .	136
Captage sur griffon mis à jour . . . . .	140
Captage par surcharge. . . . .	143
Captage par pressions hydrostatiques réci- proques . . . . .	145
Captage par sondage . . . . .	145
Matériaux employés dans les captages des sources minérales. . . . .	148
Canalisation des eaux minérales . . . . .	150
Maizières (Côte d'Or) . . . . .	153
Bourbon-l'Archambault (Allier). . . . .	153
Évaux (Creuse). . . . .	154
Néris (Allier) . . . . .	155

	Pages
Chatelguyon (Puy-de-Dôme) . . . . .	156
Vals (Ardèche). . . . .	156
Aulus (Ariège) . . . . .	157
Vittel (Vosges). . . . .	158
Saint-Gervais (Haute-Savoie). . . . .	159
Vichy (Allier) . . . . .	160
Cauterets (Hautes-Pyrénées). . . . .	163
Uriage (Isère) . . . . .	164
Lamalou (Hérault) . . . . .	165
Saint-Jean-du-Gard (Gard) . . . . .	166
Anthieu (Nièvre) . . . . .	167
Plombières (Vosges). . . . .	167
Bourbonne (Haute-Marne). . . . .	169
Ussat (Ariège) . . . . .	171
Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise) . . . . .	173
Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne) . . . . .	174
La Bourboule (Puy-de-Dôme) . . . . .	176
Saint-Yorre (Allier). . . . .	177
Utilisation des Boues et des Conerves. . . . .	181
Franzenbad. . . . .	181
Saint-Amand (Nord). . . . .	182
Viterbe . . . . .	183
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	185

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**  
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6<sup>e</sup>).

---

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

# HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES DANS L'ANTIQUITÉ ET AU MOYEN AGE,

Par **H.-G. ZEUTHEN**,  
Professeur à l'Université de Copenhague.

ÉDITION FRANÇAISE, REVUE ET CORRIGÉE PAR L'AUTEUR  
Traduite par **JEAN MASCART**.

Un volume in-8 de xv-296 pages, avec 31 figures; 1902 ..... 9 fr.

# HISTOIRE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS DE SA FONDATION A 1793,

Par **C. WOLF**,  
Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire.

Un volume gr. in-8 de xii-392 pages, avec 16 planches; 1902. 15 fr.

# TIR DES FUSILS DE CHASSE

Par **JOURNÉE**,  
Lieutenant-Colonel au 69<sup>e</sup> régiment d'Infanterie.

DEUXIÈME ÉDITION ENTièrement REFOUNDUE.

Un beau volume gr. in-8 de vi-387 pages, avec 147 fig.; 1902.. 12 fr.

# COURS DE MÉCANIQUE À L'USAGE DES CANDIDATS

A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES,

Par **P. APPELL**,  
Membre de l'Institut; Professeur à l'École Centrale,  
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Un volume in-8 de 272 pages, avec 143 figures; 1902.. 7 fr. 50 c.

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 383 figures; 1900*..... 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.

---

## TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GÉRARD**,  
(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

---

## MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GÉRARD**,

2<sup>e</sup> édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

---

## LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR **LOUIS BARBILLION**,  
ET UNE PRÉFACE DE **CH.-ED. GUILLAUME**.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

---

## TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,  
Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

# TRAITÉ D'ANALYSE

Par **Émile PICARD**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

**TOME I** : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 2<sup>e</sup> édition, revue et corrigée; 1901..... **16 fr.**

**TOME II** : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... **15 fr.**

**TOME III** : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... **18 fr.**

**TOME IV** : Équations aux dérivées partielles..... (*En préparation.*)

## LEÇONS

# SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

**TOME I** : *Exposé de la théorie des ensembles et applications*; 1898... **3 fr. 50 c.**

**TOME II** : *Leçons sur les fonctions entières*; 1900..... **3 fr. 50 c.**

**TOME III** : *Leçons sur les séries divergentes*; 1901..... **4 fr. 50 c.**

**TOME IV** : *Leçons sur les séries à termes positifs*; 1902..... **3 fr. 50 c.**

# COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par **E. GOURSAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

**TOME I** : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développements en séries. Applications géométriques.* Grand in-8. Un fascicule (368 pages) est paru. Prix du volume complet pour les souscripteurs..... **17 fr.**

## LE SYSTÈME MÉTRIQUE

# DES POIDS ET MESURES

SON ÉTABLISSEMENT ET SA PROPAGATION GRADUELLE

Par **G. BIGOURDAN**,

Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.

Petit in-8 en caractères elzéviens, titre en 2 couleurs, 17 figures et 10 planches ou portraits; 1901..... **10 fr.**

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE

# NOUVELLES TABLES DE LOGARITHMES A CINQ DÉCIMALES

POUR LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES  
DANS LES DEUX SYSTÈMES DE LA DIVISION **CENTÉSIMALE**  
ET DE LA DIVISION **SEXAGÉSIMALE** DU QUADRANT  
ET POUR LES NOMBRES 1 A 12000.

*Édition spéciale à l'usage des Candidats aux Écoles Polytechnique  
et de Saint-Cyr.*

UN VOLUME GRAND IN-8; 1901. CARTONNÉ..... 3 FR.

## LEÇONS SUR LA THÉORIE DES GAZ

Par **L. BOLTZMANN**,

Professeur à l'Université de Leipzig.

TRADUITES PAR A. GALLOTTI, ancien Élève de l'École Normale;  
AVEC UNE *Introduction* ET DES *Notes*

PAR M. BRILLOUIN, Professeur au Collège de France.

1<sup>re</sup> PARTIE. GRAND IN-8 DE XIX-204 PAGES AVEC FIGURES; 1902. 8 fr.

## LA CONVENTION DU MÈTRE

ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES,

Par **Ch.-Ed. GUILLAUME**,

Directeur adjoint du Bureau International des Poids et Mesures.

UN VOLUME IN-4, AVEC NOMBREUSES FIGURES; 1901... 7 FR. 50 C.

## LEÇONS SUR LES MOTEURS A GAZ ET A PÉTROLE,

FAITES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX,

Par **L. MARCHIS**,

Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

UN VOLUME IN-16 DE L-175 PAGES AVEC 19 FIGURES; 1901. 2 FR. 75 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAVAUX  
DU  
CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI A PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ  
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

**Ch.-Éd. GUILLAUME et L. POINCARÉ,**  
Secrétaires généraux du Congrès.

QUATRE VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES.

TOMES I, II et III. *Rapports présentés au Congrès.* 3 volumes se vendant  
ensemble..... 50 fr.

On vend séparément :

TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Phy-  
sique moléculaire*..... 18 fr.

TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.

TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cos-  
mique. Physique biologique*..... 18 fr.

TOME IV : *Procès-verbaux. Annexes. Liste des membres; 1901*..... 6 fr.

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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,  
à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER**,

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.  
TOME II..... (En préparation.)

# COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par **H. PELLAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures;  
1901..... 10 fr.  
TOME II : (Sous presse.) — TOME III : (En préparation.)

ESSAI SUR LES

# FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par **B.-A.-W. RUSSELL**,

Traduction par **C. CADENAT**, revue et annotée par l'Auteur  
et par **LOUIS COUTURAT**.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

GUIDE PRATIQUE

POUR LES

# CALCULS DE RÉSISTANCE

DES

**CHAUDIÈRES A VAPEUR ET L'ESSAI DES MATÉRIEAUX EMPLOYÉS,**

Publié par l'Union Internationale des Associations de surveillance d'Appareils à vapeur,

TRADUIT SUR LA 7<sup>e</sup> ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUIN**, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie,

**E. MAIRE**, Ingénieur E. C. P., Directeur de l'Association des  
Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est,

Avec la collaboration de **H. WALTHER MEUNIER**, Ingénieur E. C. P.,  
Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

Un volume in-12 raisin, avec 10 figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.

**THÉORIE ANALYTIQUE DE LA CHALEUR**

MISE EN HARMONIE AVEC LA THERMODYNAMIQUE  
ET AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE,

Par **J. BOUSSINESQ**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Deux volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : *Problèmes généraux*. Vol. de xxvii-333 p.; av. 14 fig.; 1901. 10 fr.

TOME II : *Échauffement par contact et échauffement par rayonnement. Conductibilité des aiguilles, lames et masses cristallines. Courants de convection. Théorie mécanique de la lumière*..... (Sous presse.)

**LES CARBURES D'HYDROGÈNE (1851-1901)**

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Par **M. BERTHELOT**,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

3 volumes grand in-8, se vendant ensemble..... 45 fr.

TOME I : *L'Acétylène : synthèse totale des carbures d'hydrogène*. Volume de x-414 pages. — TOME II : *Les Carbures pyrogénés. — Séries diverses*. Volume de iv-558 pages. — TOME III : *Combinaison des carbures d'hydrogène avec l'hydrogène, l'oxygène, les éléments de l'eau*. Vol. de iv-459 pages.

**GUSTAVE ROBIN**,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

**ŒUVRES SCIENTIFIQUES**

réunies et publiées sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique,

Par **Louis RAFFY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

MATHÉMATIQUES : *Nouvelle théorie des fonctions exclusivement fondée sur l'idée de nombre*. Un volume grand in-8..... (Sous presse.)

PHYSIQUE : Un volume grand in-8, en deux fascicules :

*Physique mathématique*. Grand in-8; 1899..... 5 fr.

*Thermodynamique générale*. Grand in-8; 1901..... 9 fr.

CHIMIE : *Leçons de Chimie physique*, professées à la Faculté des Sciences de Paris. Un volume in-8..... (En préparation.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# COURS DE PHYSIQUE

## DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par J. JAMIN et E. BOUTY.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

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 figures. 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 chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. 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 des quatre volumes. 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.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

## TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE

**ALHEILIG,**  
Ingénieur de la Marine.

PAR

**Camille ROCHE,**  
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : avec 412 figures; 1895 ..... 20 fr.  
TOME II : avec 281 figures; 1895 ..... 18 fr.

## CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

**E. DEHARME,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

PAR

**A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>al</sup> aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

## CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

**E. DEHARME,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

PAR

**A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>al</sup> aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

## TRAITÉ PRATIQUE

DES

## CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

ET DES

## TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON,**

Ingénieur, Chef de traction à la C<sup>ie</sup> générale des Omnibus de Paris.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

---

## **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.

---

## **COURS DE CHEMINS DE FER**

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

**Par G. 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: avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II: avec 177 fig.; 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**

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

**Par J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I: avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II: avec 571 fig.; 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

## 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.

## 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; 1893 (E. I.)..... 30 FR.

## RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

ET

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE MATHÉMATIQUE DE L'ÉLASTICITÉ

Par Aug. FÖPPL,

Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR E. HAIN,

Ingénieur diplômé de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 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 : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.  
TOME II : avec 359 fig.; 1894..... 15 fr.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

**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 contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

**CHEMINS DE FER.**

## **EXPLOITATION TECHNIQUE**

PAR MM.

**SCHÖLLER,**

Chef adjoint des Services commerciaux  
à la Compagnie du Nord.

**FLEURQUIN,**

Inspecteur des Services commerciaux  
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

## **TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES**

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

**Par E. BOURRY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

**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.

2<sup>e</sup> édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## 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.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 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; 1896 (E. I.).

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig. 1896. 15 fr.

## 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.

## 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**,

Prof<sup>r</sup> à la Faculté des Sciences de Nancy,  
Directeur de l'École de Brasserie.

**J. JAQUET**,

Ingénieur civil.

Grand in-8 de IX-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

## COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing<sup>r</sup> 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.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

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 TOLDT**,

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.

**ANALYSE INFINITÉSIMALE**  
**A L'USAGE DES INGÉNIEURS,**

Par **E. ROUCHÉ** et **L. LÉVY**,

2 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES. (E. T. P.) :

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*..... (Sous presse.)

**COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE**

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **C. COLSON**,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État.

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.) :

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOMES II et III..... (Sous presse.)

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.

A 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.

## A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5<sup>e</sup> édition. Traduction sur la 12<sup>e</sup> édition anglaise, par G. HUBERSON.  
In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS,

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRÉNTIELLE DE M. LIPPMANN,

Par A. BERGET.

2<sup>e</sup> édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec fig.; 1901... 1 fr. 75 c.

## FABRICATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE,

Par BURTON. — Traduction par HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 0 fr. 50 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

## LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 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**

*Chaque volume se vend séparément 14 fr.*

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter 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**

2<sup>e</sup> Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. **14**

Les 6 volumes se vendent ensemble..... **72 fr.**

**LA PHOTOGRAPHIE D'ART**

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900.

Par C. KLARY.

Grand in-8 de 88 pages, avec nombreuses illustrations et planches; 1901..... **6 fr. 50**

**MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,**

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

3<sup>e</sup> ÉDITION COMPLÈTEMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... **2 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**

**ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE,**

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. **16 fr**

**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**

**TRAITÉ PRATIQUE**

**DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,**

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900 .... **6 fr. 50 c.**

31573. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

**MASSON & C<sup>ie</sup>, Éditeurs**  
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE  
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6<sup>e</sup>)  
P. n<sup>o</sup> 301.

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)  
(Septembre 1902)

# La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM

**ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET**

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER  
BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER  
DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE  
LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN  
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du tome IV . . . . . 150 fr.

**TOME I.** 1 fort vol. gr. in-8<sup>o</sup> avec 230 fig. en noir et 24 pl. en coul. 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. — Alopecies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient. — Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. — Dermatitis polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. — Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

**TOME II.** 1 fort vol. gr. in-8<sup>o</sup> avec 168 fig. en noir et 21 pl. en coul. 40 fr.

Eczéma. — Electricité. — Eléphantiasis. — Epithélioma. — Eruptions artificielles. — Erythème. — Erythrasma. — Erythrodermes. — Esthiomène. — Favus. — Folliculites. — Furunculose. — Gale. — Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermites. — Herpès. — Hydroa vaccinalforme. — Ichtyose. — Impétigo. — Kératodermie. — Kératose pileaire. — Langue.

**TOME III.** 1 fort vol. gr. in-8<sup>o</sup> avec 201 fig. en noir et 19 pl. en coul. 40 fr.

Lèpre. — Lichen. — Lupus. — Lymphadénie cutanée. — Lymphangiome. — Madura (pied de). — Mélanodermies. — Miliun et pseudo-Miliun. — Molluscum contagiosum. — Morve et Farcin. — Mycosis fongicide. — Nævi. — Nodosités cutanées. — Œdème. — Ongles. — Maladie de Paget. — Papillomes. — Pelade. — Pellagre. — Pemphigus. — Perleche. — Phtiriase. — Pian. — Pityriasis, etc.

Sous presse : **TOME IV**

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes les personnes qui lui en font la demande. — Catalogue général. — Catalogues de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingénieur. II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

# 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, PIERRE 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

**Ouvrage complet**

**DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE**

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. . . . . 150 fr.

**TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages 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 boursés séreuses.

**TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.**

LEJARS. — Nerfs.  
MICHAUX. — Artères.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.

QUÉNU. — Maladies des veines.

PONCET. — Affections non traumatiques des os.

**TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.**

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

GÉRARD MARCHANT. — Crâne.  
KIRMISSON. — Rachis.  
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

**TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages 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° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.**

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gonçives, palais, larynx, corps thyroïde.

des salivaires, œsophage et pharynx.  
WALTHER. — Maladies du cou.  
PEYROT. — Poitrine.

HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

PIERRE DELBET. — Mamelle.

**TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.**

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.  
BERGER. — Hernies.

HARTMANN. — Estomac.  
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.  
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.  
SEGOND. — Foie.

**TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. 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. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.**

MICHAUX. — Vulve et vagin.  
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.  
SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.  
KIRMISSON. — Maladies des membres.



# 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 MM.

O. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare  
Paul Delbet — P. Fredet — Glantenay — Gosset  
P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas  
Nobécourt — O. Pasteau — M. Picou  
A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. *En souscription* : 150 fr.

*Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs.*

## ÉTAT DE LA PUBLICATION (SEPTEMBRE 1902)

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — **Embryologie.** Notions d'embryologie. — **Ostéologie.** Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie.** Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. . . . . 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Myologie.** Embryologie, histologie, peauciers et aponévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures. . . . . 12 fr.
- 2<sup>o</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Angéiologie.** Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 150 figures. 8 fr.
- 3<sup>o</sup> Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. . . . . 6 fr.
- 4<sup>e</sup> Fascicule : **Les Lymphatiques.** 1 vol. gr. in-8° avec 117 fig. 8 fr.
- TOME III** (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Système nerveux.** Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 265 figures . . . . . 10 fr.
- 2<sup>o</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Système nerveux.** Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 131 figures. . . 10 fr.
- 3<sup>o</sup> Fascicule : **Système nerveux.** Les nerfs, nerfs crâniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 205 figures. . . . . 12 fr.
- TOME IV.** — 1<sup>er</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : **Tube digestif.** Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 205 figures . . . . . 12 fr.
- 2<sup>o</sup> Fascicule : **Appareil respiratoire.** Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. . 6 fr.
- 3<sup>o</sup> Fascicule : **Annexes du tube digestif.** Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoine. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. . . . . 16 fr.
- TOME V.** — 1<sup>er</sup> Fascicule : **Organes génito-urinaires.** Reins, uretère, vessie, urètre, prostate, verge, périnée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. 20 fr.
- 2<sup>o</sup> Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

## CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTTINGER, 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 vol. gr. in-8°, av. fig. 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 du 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 Porte-d'Aubervilliers.

### 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 CÉTTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

### TOME III

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

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**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.

### TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

**Maladies du foie et des voies biliaires**, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoiétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

**TOME VI**

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

**Maladies du nez et du larynx**, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRIS-  
SAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-  
Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de  
médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation  
pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par  
NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hô-  
pitaux.

**TOME VII**

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

**Maladies chroniques du poumon**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé  
à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmo-  
naire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, profes-  
seur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

**TOME VIII**

1 vol. grand in-8° de 580 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

**Maladies du cœur**, par ANDRÉ PETIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies  
des vaisseaux sanguins**, par W. GÉTINGER, médecin des hôpitaux.

# Traité de Physiologie

PAR

**J.-P. MORAT**

Professeur à l'Université de Lyon.

**Maurice DOYON**

Professeur agrégé  
à la Faculté de médecine de Lyon.

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 55 fr.

- I. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. gr. in-8°, avec  
263 figures noires et en couleurs. . . . . 15 fr.  
II. — **Fonctions de nutrition : Circulation**, par M. DOYON; **Calorification**,  
par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.  
III. — **Fonctions de nutrition (suite et fin) : Respiration, excréation**, par  
J.-P. MORAT; **Digestion, Absorption**, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec  
167 figures en noir et en couleurs. . . . . 12 fr.

# 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 des hôpitaux.

**A.-B. MARFAN**

Agrégé, Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

# Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

## COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, R. BLANCHARD, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURMONT, DRJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉRÉ, FRÉMY, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-P. GUYON, HALLÉ, HÉNOGUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYERZ, LETULLE, LUBET-BARBON, MARFAN, MAYOR, MÉNÉTRIER, NETTER, PIERRET, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, RAYMOND, TRIPPIER, VUILLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes, en souscription jusqu'à la publication du tome VI. 120 fr.

## TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux. — Considérations générales sur les maladies des végétaux. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie. — L'hérédité et la pathologie générale. — Prédilection et immunité. — La fatigue et le surmenage. — Les Agents mécaniques. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante. — Les Agents chimiques : les caustiques. — Les intoxications.

## TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 18 fr.

L'infection. — Notions générales de morphologie bactériologique. — Notions de chimie bactériologique. — Les microbes pathogènes. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses. — Des maladies épidémiques. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes. — Les parasites.

## TOME III

1 vol. in-8° de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal. — Les troubles préalables de la nutrition. — Les réactions nerveuses. — Les processus pathogéniques de deuxième ordre.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques. — De la fièvre. — L'hypothermie. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires. — Les désordres de la circulation dans les maladies. — Thrombose et embolie. — De l'inflammation. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires. — Les altérations anatomiques non inflammatoires. — Les tumeurs.

## TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 16 fr.

Evolution des maladies. — Séméiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Séméiologie. — Séméiologie du cœur et des vaisseaux. — Séméiologie du nez et du pharynx nasal. — Séméiologie du larynx. — Séméiologie des voies respiratoires. — Séméiologie générale du tube digestif.

## TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Séméiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Séméiologie des organes génitaux. — Séméiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte (sous presse)

Les troubles de l'intelligence. — Sémiologie de la peau. — Sémiologie de l'appareil visuel. — Sémiologie de l'appareil auditif. — Considérations générales sur le diagnostic et le pronostic. — Diagnostic des maladies infectieuses par les méthodes de laboratoire. — Cyto-diagnostic des épanchements séro-fibrineux. — Ponction lombaire. — Applications cliniques de la cryoscopie. — De l'élimination provoquée comme méthode du diagnostic. — Les rayons de Röntgen et leurs applications médicales. — Thérapeutique générale. — Hygiène.

# Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

**D'ARSONVAL**

Professeur au Collège de France  
Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine.

**GARIEL**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées  
Prof. à la Faculté de médecine de Paris  
Membre de l'Académie de médecine.

**CHAUVEAU**

Profes. au Muséum d'histoire naturelle  
Membre de l'Institut  
et de l'Académie de médecine.

**MAREY**

Professeur au Collège de France  
Membre de l'Institut  
et de l'Académie de médecine.

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**

Ingénieur des Ponts et Chaussées  
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription . . . . . 60 fr.

TOME PREMIER. 1 fort vol. in-8°, avec 591 figures dans le texte. . 25 fr.

Sous Presse : **Tome II**

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr CRITZMAN, directeur

## Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément . . . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 27. **Traitements modernes de l'Hypertrophie de la Prostate**, par le Dr E. DESNOS, ancien interne des hôpitaux.
- N° 28. **La Gastro-entérostomie**, par MM. ROUX et BOURGET, professeurs de l'Université à Lausanne.
- N° 29. **Les Ponctions rachidiennes accidentelles et les complications des plaies pénétrantes du rachis par armes blanches sans lésions de la moelle**, par le Dr E. MATHIEU, médecin inspecteur de l'armée, ancien directeur et professeur au Val-de-Grâce.
- N° 30. **Le Ganglion Lymphatique**, par HENRI DOMINICI.

# Traité de Technique opératoire

CH. MONOD

Professeur agrégé à la Faculté  
de médecine de Paris

Chirurgien de l'Hôpital Saint-Antoine  
Membre de l'Académie de médecine

PAR

J. VANVERTS

Ancien interne lauréat des Hôpitaux  
de Paris

Chef de clinique à la Faculté  
de médecine de Lille

2 forts vol. gr. in-8<sup>o</sup>, avec très nombreuses figures dans le texte.  
*En souscription. . . 35 fr.*

---

## Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur

PENDANT L'ENFANCE ET L'ADOLESCENCE

Par le D<sup>r</sup> E. KIRMISSON

Professeur de Clinique chirurgicale infantile à la Faculté de médecine  
Chirurgien de l'hôpital Trousseau

*1 vol. in-8<sup>o</sup> avec 430 figures dans le texte. . . 15 fr.*

Ce volume fait suite au **Traité des Maladies chirurgicales d'origine congénitale** (312 figures et 2 planches en couleurs). *Publié en 1898. . . 15 fr.*  
Ces deux ouvrages constituent un véritable traité de Chirurgie orthopédique.

---

## Traité d'Hygiène

Par A. PROUST

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Paris, Membre de l'Académie de médecine  
Inspecteur général des Services sanitaires.

*Troisième édition revue et considérablement augmentée*

AVEC LA COLLABORATION DE

A. NETTER

et

H. BOURGES

Agrégé  
Médecin de l'hôpital Trousseau

Chef du laboratoire d'hygiène  
à la Faculté de médecine

Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine

*1 vol. in-8<sup>o</sup>, avec fig. et cartes pub. en 2 fasc. En souscription. . 18 fr.*

---

## Traité de Chirurgie d'urgence

Par Félix LEJARS

Professeur agrégé, Chirurgien de l'hôpital Tenon.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8<sup>o</sup> de 1005 pages, avec 751 fig. dont 351 dessinées d'après nature, par le D<sup>r</sup> DALEINE, et 172 photogr. origin. Relié toile. 25 fr.

---

**Manuel de Pathologie externe**, par MM. RECLUS, KIR-  
 MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de  
 médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. Édition complète  
 illustrée de 720 figures. 4 volumes in-8°. . . . . 40 fr.  
*Chaque volume est vendu séparément.* . . . . . 10 fr.

**Manuel pratique du Traitement de la Diphtérie**  
 (Sérothérapie, Tubage, Trachéotomie), par M. DEGUY, chef  
 du laboratoire de la Faculté à l'hôpital des Enfants, et Benjamin  
 WEILL, moniteur de tubage et de trachéotomie à l'hôpital des  
 Enfants-Malades. Introduction par A.-B. MARFAN, professeur agrégé,  
 médecin de l'hôpital des Enfants-Malades. 1 vol. in-8° broché, avec  
 figures et photographies dans le texte . . . . . 6 fr.

**Les Maladies infectieuses**, par G.-H. ROGER, professeur  
 agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers. 1 vol. in-8°  
 de 1520 pages publié en 2 fascicules avec figures . . . . . 28 fr.

**Précis d'Histologie**, par Mathias DUVAL, professeur à la  
 Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine.  
*Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans  
 le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages . . . . . 18 fr.

**Traité élémentaire de Clinique thérapeutique**,  
 par le Dr Gaston LYON, ancien chef de clinique médicale à la  
 Faculté de médecine de Paris. *Quatrième édition revue et augmentée*.  
 1 fort volume in-8° de 1540 pages, cartonné toile. . . . . 25 fr.

**Les Maladies du cuir chevelu.** — I. Maladies sébor-  
 rhéiques : **Séborrhée, Acnés, Calvitie**, par le Dr R. SA-  
 BOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-  
 Louis, membre de la Société de Dermatologie. 1 volume in-8°, avec  
 91 figures dans le texte dont 40 aquarelles en couleurs . . . 10 fr.

**Nouveaux procédés d'Exploration.** *Leçons de Patholo-  
 gie générale*, professées à la Faculté de médecine par Ch. ACHARD,  
 agrégé, médecin de l'hôpital Tenon, recueillies et rédigées par  
 MM. P. SAINTON et LÉPER. 1 vol. in-8°, avec figures en noir et  
 en couleurs . . . . . 8 fr.

**Les Tics et leur traitement**, par Henry MEIGE et E. FEIN-  
 DEL. Préface de M. le Professeur BRISSAUD. 1 vol. in-8° de  
 640 pages . . . . . 6 fr.

# Bibliothèque Diamant

## des Sciences médicales et biologiques

*Cette collection est publiée dans le format in-16 raisin, avec nombreuses figures dans le texte, cartonnage à l'anglaise, tranches rouges.*

*Sous presse*

**Manuel de Bactériologie médicale**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble. 1 vol.

*Derniers volumes publiés dans la Collection*

**Manuel de Diagnostic médical et d'Exploration clinique**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, et P. HAUSHALTER, professeur agrégé. *Quatrième édition entièrement refondue*. 1 vol. avec 89 figures. . . . . 6 fr.

**Précis de Microbie**. *Technique et microbes pathogènes*, par M. le Dr L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, et E.-J. MASSELIN, médecin-vétérinaire. Ouvrage couronné par la Faculté de médecine. *Quatrième édition entièrement refondue*. 1 volume, avec figures en noir et en couleurs. . . 8 fr.

**Éléments de Physiologie**, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec figures. 8 fr.

**Manuel de Thérapeutique**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble, avec préface du Professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée*. 1 vol. . 6 fr.

**Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFUY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Treizième édition entièrement refondue et augmentée*. 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 28 fr.

**Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie**, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine. Préface de M. le Professeur Mathias DUVAL. *Deuxième édition entièrement refondue*. 1 volume avec 261 figures . . . . . 8 fr.

**Éléments de Chimie physiologique**, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée*. 1 volume, avec figures . . . . . 5 fr.

**Précis de Bactériologie clinique**, par le Dr R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée*. 1 volume, avec tableaux et figures. 6 fr.

**Précis d'Anatomie pathologique**, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée*. 1 volume, avec 125 figures . . . . . 7 fr. 50



## 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.

## 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. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le Dr SPRINGER, ancien interne 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 Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le Dr CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNELONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le Dr 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.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le Dr LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

*Sous presse :*

**Hygiène du Larynx, du Nez et des Oreilles**, par M. le Dr LUBET BARBON.

# Traité

DE

# Chimie industrielle

Par **R. WAGNER** et **F. FISCHER**

**QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFONDUE**

Rédigée d'après la quinzisième édition allemande

par le **D<sup>r</sup> L. GAUTIER**

*2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte*

En souscription. . . . . **30 fr.**

A l'apparition du Tome II, le prix de l'ouvrage sera porté à 35 francs.

---

Dans cette quatrième édition, l'ouvrage a subi un remaniement si complet et si profond qu'on peut le considérer comme un livre nouveau, absolument au niveau des progrès de la science et répondant de la manière la plus complète aux besoins de l'industrie chimique actuelle. Tous les perfectionnements de la chimie technologique y sont exposés avec tous les développements qu'ils comportent et afin de rendre encore plus facile l'intelligence du texte, de nombreuses figures nouvelles ont été introduites.

Ainsi refondue et mise au courant, nous espérons que la nouvelle édition française de la *Chimie industrielle* recevra de la part du public un accueil aussi favorable que celui qui a été fait aux éditions précédentes.

---

**Le Constructeur**, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par **F. Reuleaux**. *Troisième édition française*, par **A. Debize**, ingénieur des manufactures de l'État. 1 volume in-8° avec 184 figures. . . . . **30 fr.**

**Traité d'analyse chimique qualitative**, par **R. Frésenius**. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Dixième édition française* d'après la 16<sup>e</sup> édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique . . . . . **7 fr.**

**Traité d'analyse chimique quantitative**, par **R. Frésenius**. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduito sur la 6<sup>e</sup> édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . . **16 fr.**

**Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse**, 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 volume grand in-8°, avec 96 figures dans le texte . . . . . **9 fr.**

**Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux**, par **Charles GIRARD**, directeur du Laboratoire municipal de la Ville de Paris, et **Lucien CUNIASSE**, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile . . . . . **7 fr.**

**Chimie Végétale et Agricole** (*Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889*), 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.**

**Précis de Chimie analytique, Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais**, par **J.-A. MULLER**, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché. . . . . **3 fr.**

## Précis de Géographie économique

PAR MM.

**MARCEL DUBOIS**

Professeur de Géographie coloniale  
à la Faculté des Lettres de Paris

**J.-G. KERGOMARD**

Professeur agrégé d'Histoire  
et Géographie au Lycée de Nantes

### DEUXIÈME ÉDITION

entièrement refondue et mise au courant des dernières statistiques

AVEC LA COLLABORATION DE

**M. Louis LAFFITTE**

Professeur à l'École de Commerce de Nantes

1 vol. in-8°. . . . . **8 fr.**

On vend séparément :

La France, l'Europe. 1 vol. . . . . **6 fr.**  
L'Asie, l'Océanie, l'Afrique et les Colonies. 1 vol. . . . . **4 fr.**

Cette œuvre fera époque dans l'enseignement de la Géographie. Elle est la seule, à notre connaissance, en dehors des travaux suscités par la Société de Géographie commerciale, qui traite d'une façon principale cette branche de la géographie.  
(Bulletin de la Chambre de Commerce de Paris.)

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig. cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de VIII-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile . . . . . 3 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 136 pages avec 33 figures, broché. . . . . 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. . . . . 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XX-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. . . . . 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de XII-398 pages avec 233 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. . . . . 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XVI-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. . . . . 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché . . . . . 2 fr. 50

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

Pour paraître en mai 1903 : LA SAVOIE

VOLUMES PUBLIÉS

- Le Cantal,** par M. BOULE, docteur ès sciences, et L. FARGES, archi-  
viste-paléographe. 1 vol. avec 85 fig. et 2 cartes en coul.
- La Lozère,** par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en  
droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences.  
1 vol. in-16 avec 87 fig. et 4 cartes en coul.
- Le Puy-de-Dôme et Vichy,** par M. BOULE, docteur ès  
sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de  
Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE,  
ancien président de l'Académie de Clermont. 1 vol. avec 109 figures  
et 3 cartes en coul.
- La Haute-Savoie,** par MARC LE ROUX, conservateur du Musée  
d'Annecy. 1 vol. avec 105 fig. et 3 cartes en couleurs.

Chaque volume in-16, relié toile anglaise . . . . . 4 fr. 50

## MISSION SAHARIENNE FOUREAU-LAMY

**D'Alger au Congo par le Tchad**Par **F. FOUREAU**

Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures reproduites directement d'après les photographies de l'auteur, et une carte en couleurs des régions explorées par la Mission.

Broché : 12 francs. — Richement cartonné : 15 francs.

**Traité de Zoologie**Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

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 1344 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.
FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte. . . . .	6 fr.
FASCICULE VI : Vertébrés. ( <i>Sous presse</i> ).	

## PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

**Recettes et Procédés utiles**, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Dixième 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. *Quatrième édition*, avec 91 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles**. *Quatrième série*, par Gaston TISSANDIER. *Troisième 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.

# LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

**ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.**  
**ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50**

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde, constitue un résumé complet du *mouvement géographique* pour chaque mois.

---

# La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

*des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

**Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. — Union postale : 26 fr.**

**Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50. — Union postale : 13 fr.**

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui modifient sans cesse les conditions de notre vie.

---

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 2840.