

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE
DE FRANCE

CETTE SOCIÉTÉ, FONDÉE LE 17 MARS 1830
A ÉTÉ AUTORISÉE ET RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR ORDONNANCE DU ROI DU 3 AVRIL 1832

QUATRIÈME SÉRIE

TOME DIXIÈME

FASCICULÉS 3-4 :

Feuilles 7-16. — Planches III-V.

PARIS
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
28, rue Serpente, VI

1910

LES NAPPES AQUIFÈRES DE FRANCE

ESSAI D'HYDROGÉOLOGIE

CONFÉRENCE FAITE A LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
LE 6 DÉCEMBRE 1909

PAR **Ed. Imbeaux.**

(*Extrait*)

I. — TERRAINS PRIMITIFS OU ARCHÉENS, ET TERRAINS VOLCANIQUES

Les terrains primitifs (gneiss, granite, porphyre, syénite, etc.) sont généralement imperméables dans la profondeur, mais ils sont souvent découpés de fines fissures au voisinage de la surface. L'abouchement de ces fissures sur les flancs ou dans le fond des vallons donne dès lors naissance à des sources nombreuses, mais faibles, dont les eaux ne sont pas toujours suffisamment bien filtrées ; de plus, il est à craindre, comme cela arrive dans les Vosges, que des habitations situées au-dessus de la source n'y déversent leurs eaux usées et purins. C'est pour ces raisons qu'il est bien difficile de recueillir un grand volume d'eau potable dans les sources des terrains granitiques et que les villes de Strasbourg, Mulhouse, Thann ont finalement renoncé à chercher leur approvisionnement dans les Vosges.

Les fissures semblent descendre jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur, notamment au voisinage de la mer : il existerait aux environs de cette cote une sorte de fente horizontale, à la limite de la zone qui est influencée par les différences de température diurnes et annuelles, et on aurait chance d'y trouver de l'eau. C'est ainsi que Nordenskjold obtint (en 1894) 44 puits réussis et seulement un insuccès à la station de pilotes d'Arkó, de 32 à 35 mètres de profondeur (comme ils étaient creusés avec un perceur garni de diamants, on les appela les *puits de diamant*). En France, des puits foncés dans les porphyres fissurés de l'Esterel ont été suffisamment abondants pour alimenter les villas d'Agay. Les deux systèmes de fissures des granites du cap Land's End, en Cornouailles, sont aussi très caractéristiques.

Mais s'il n'y a pas de nappe à proprement parler dans le granite, on trouve souvent un peu d'eau, voire même une petite nappe phréatique, dans les produits de décomposition des roches feldspathiques qui remplissent les dépressions et le fond des val-

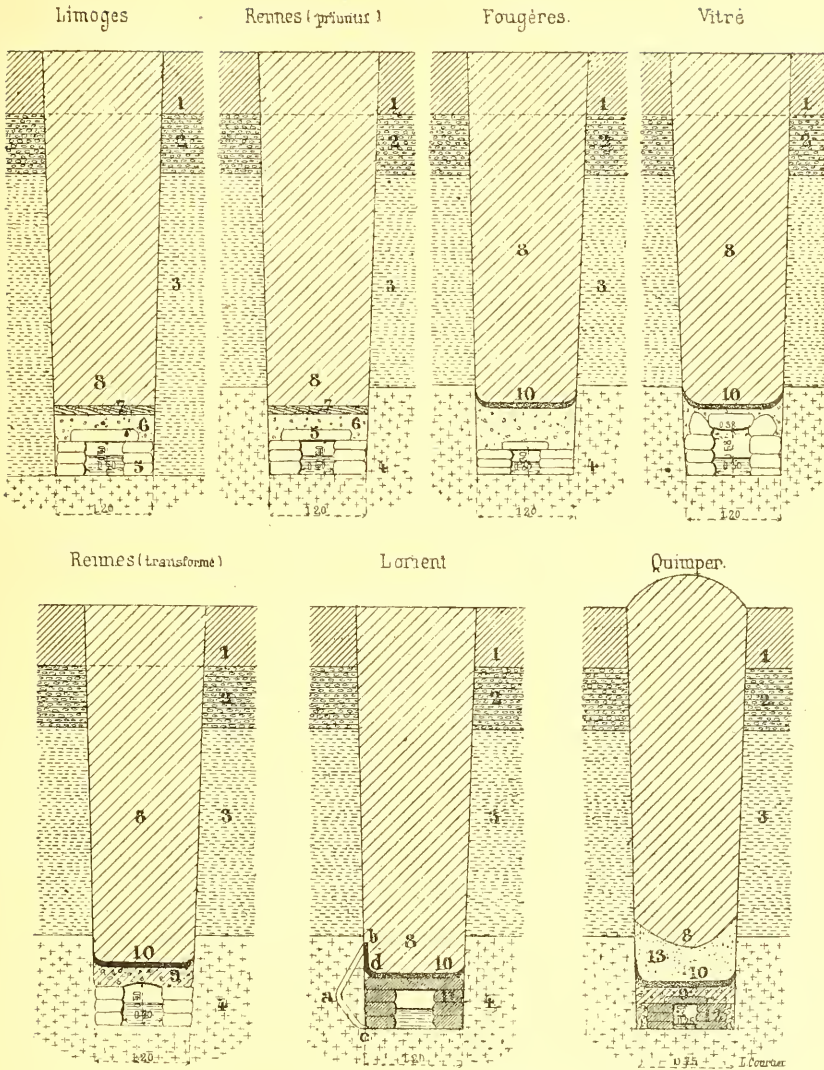


FIG. 1. — Drainages en terrains granitiques pour l'alimentation des villes bretonnes¹.

- 1, Terre de prairie et tourbe; 2, Cailloux roulés et argile; 3, Tuf granitique; 4, Granite; 5, Maçonnerie de pierres sèches; 6, Remblai en sable et gravier; 7, Remblai en mousse; 8, Remblai avec les matériaux de la fouille; 9, Maçonnerie de béton de ciment; 10, Chape en ciment; 11, Maçonnerie de moellons avec ciment; 12, Remplissage en éclats de pierres; 13, Remblai en sable de mer.

1. Les clichés qui illustrent cette note ont été pour la plupart prêtés par la maison d'édition Dunod et Pinat.

lées. Ces produits sableux, appelés *arènes*, sont souvent drainés pour l'alimentation des localités voisines. Les villes du massif armoricain, telles que Rennes, Lorient, Quimper, Vitré, Fougères, Limoges, ont fait ainsi des drainages très étendus (fig. 4.), descendus jusque dans le granite en place : malheureusement ces captations restent fort peu profondes, les eaux sont exposées à une facile contamination (il faudrait protéger toute la surface), et de plus on n'a aucun moyen de retenir les eaux surabondantes des périodes pluvieuses pour parer au manque d'eau en sécheresse.

Les roches primitives règnent surtout dans les régions montagneuses, Alpes, Pyrénées, Vosges, auxquelles il faut ajouter le Morvan, le Massif Central, avec une grande extension vers l'Ouest, dans la Creuse et le Limousin et une sorte de prolongement jusqu'au Sud du Tarn et au Nord de l'Hérault, la grande presque île armoricaine, enfin la zone du littoral du Sud-Est (de Cannes un peu au delà de St-Tropez) et la Corse.

Les terrains volcaniques n'occupent que des espaces moindres et disséminés, dont les massifs du Cantal et du Puy-de-Dôme. Celles de ces roches qui sont compactes comme les trachytes et les basaltes ne donnent à leur surface que de très petites sources dans les creux et vallons (comme pour le granite) ; mais il y a généralement une nappe importante à la limite entre le terrain volcanique et la couche sous-jacente (d'ordinaire imperméable ou imperméabilisée par le métamorphisme), et cette nappe peut être artésienne. Bien des villages d'Auvergne se sont ainsi bâtis à la limite du basalte et de l'argile sableuse qui est en dessous ; mais le fait est plus net encore pour les coulées de lave, la lave étant très poreuse et laissant filtrer l'eau dans toute sa masse jusqu'au substratum. Tout le monde connaît les sources de Royat (pour Clermont-Ferrand) ; on peut citer aussi celles de la coulée du Tartaret à Murols, Sachapt et Neschers, celles du Puy de Barne, du Puy de Pariou, du Puy de Gravenoire, des Puy de Jumes et de Coquille (sources de Saint-Vincent), du Puy de la Nugère (sources de Volvic et de Saint-Genès), les sources du lac Pavin, etc.

II. — TERRAINS PRIMAIRES OU PALÉOZOÏQUES

1° PRÉCAMBRIEN, CAMBRIEN ET SILURIEN. — D'après une étude détaillée d'une grande région tout autour de Nantes, qu'a faite récemment M. l'ingénieur Michel, ces terrains extrêmement schisteux et compacts sont presque absolument imperméables dans le Maine, la Vendée et une partie de la Bretagne ; de plus, les quelques eaux profondes du Silurien conservent un goût d'argile désa-

gréable. Aussi la ville de Nantes, pour avoir de l'eau de source convenable et en quantité suffisante, serait-elle obligée de recourir au massif de granulite qui règne au Sud-Est, de Cholet à Bressuire.

Dans le reste de l'Armorique, dans les Cévennes, les Pyrénées et les Ardennes il en est de même en général. Dans le Cotentin, d'épaisses couches calcaires s'intercalent dans les *phyllades de Saint-Lô* et contiennent de l'eau, quand elles ne sont pas protégées contre les infiltrations par une couche schisteuse supérieure ; il en est de même des bancs calcaires et dolomitiques cambriens aux environs de Granville.

Dans la région de Cherbourg, une étude de MM. Bigot et Lecornu nous apprend qu'il y a d'assez belles sources, capables d'alimenter Cherbourg, dans les grès feldspathiques cambriens de Couville et de la Hague : le dessus de ces grès est décomposé sur plusieurs mètres en arènes aquifères, et de plus, le grès lui-même est fissuré sur une certaine profondeur, ce qui donne des sources dans les vallées.

Les grès siluriens, tels que le grès armoricain, le grès de May, le grès de Domfront sont tellement compacts qu'ils touchent au quartzite ; ils se comportent dès lors au point de vue aquifère quand ils sont épais comme les roches granitiques ; toutefois ils sont souvent subdivisés en bancs minces par des couches schisteuses. Dans les Pyrénées seulement, le sommet de la formation devient plus calcaire (calcaires à *Cardiola*) et peut contenir une nappe.

2^o DÉVONIEN, CARBONIFÈRE ET PERMIEN. — a) *Ardenne et bassin franco-belge* (voir tableau ci-contre). — Le Dévonien et le Carbonifère règnent surtout dans le grand massif de l'Ardenne et dans le bassin houiller franco-belge qui s'appuie sur son flanc nord-ouest. La question des eaux souterraines est liée intimement à celle des plissements (ridement de l'Ardenne) qu'a subis ce massif vers la fin de l'époque silurienne ; les plis ont formé une série de creux courant parallèlement, dans lesquels les couches dévoniennes et carbonifères se sont emboîtées en conservant la même forme. Comme ces couches contiennent deux puissantes assises calcaires, le Calcaire dévonien et le Calcaire carbonifère, et que ces calcaires très fissurés (il y a parfois des bétoires, entonnoirs, pertes d'eau, etc.) laissent descendre l'eau jusqu'à leur base, il résulte de là que cette eau doit s'accumuler dans le fond des synclinaux calcaires, puis glisser lentement suivant la pente longitudinale de ces thalwegs souterrains. Si maintenant une vallée ou une faille vient recouper ces synclinaux, il est clair qu'elle donnera naissance à des sources abondantes : ainsi prennent naissance les sources des vallées encaissées du Condroz (Cal-

aire dévonien), les sources de la région de Modave dans la vallée du Hoyoux (Calcaire carbonifère), celles du Boeq, de l'Ourthe, etc. L'eau souterraine est donc plutôt localisée dans une série de creux (fig. 2 et 3), qu'uniformément répartie en forme de nappe continue.

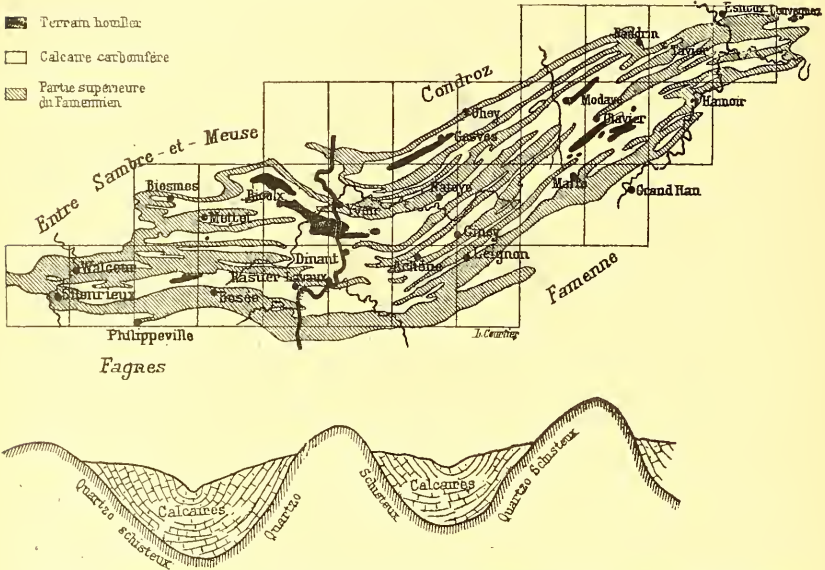


FIG. 2. — Disposition et coupe du HOUTILLER INFÉRIEUR, du CALCAIRE CARBONIFÈRE et de la PARTIE SUPÉRIEURE DU FAMENNIEN dans le MASSIF PRIMAIRE BELGE.

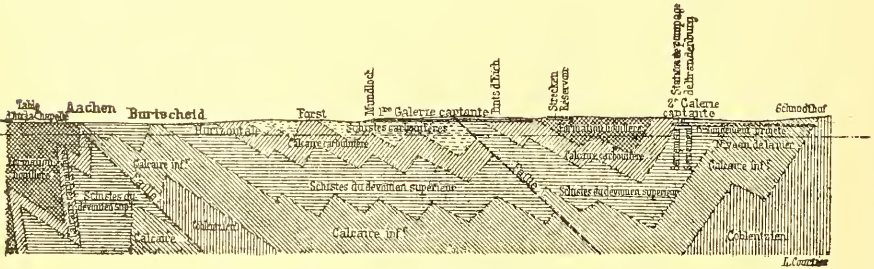


FIG. 3. — Coupe du DÉVONIEN et du CARBONIFÈRE suivant la galerie captante d'AIX-LA-CHAPELLE.

Les grès et grauweekes du Coblentzien sont métamorphiques et constituent des roches voisines de l'arkose ; ils ne sont pas perméables, mais se comportent comme les terrains granitiques

TERRAINS DÉVONIEN ET CARBONIFÈRE DANS L'ARDENNE.

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	PERMÉABILITÉ	ÉPAISSEUR MOYENNE, mètres.	NIVEAUX D'EAU	
CARBONIFÈRE.....	Houiller.....	Piesamit et Schistes houillers avec interposition des couches de houille.	imp.	à Mons 2900	Les psammites et le grès houiller sont assez souvent perméables et aquifères.	
		Schistes ampéliteux.....	imp.	25		
	Dinantien (Anthracifère ou Culm).	Calcaire	Calcaires de Dinant et de Visé.	fissuré	250 à 650	Grand niveau et réservoir d'eau à la base du calcaire carbonifère.
		carbo-nifère.				
	Famennien.....	Calcaire d'Elreungt.....	Calcaire de Tournai.....	fissuré	100 à 500	Niveau d'eau à la base.
		Schistes de la Famenne et psammites du Condroz.....	imp.	imp.		
	Frasnien.....	Calcaire de Matagne.....	Calcaire de Frasnne et marbre rouge de Flandre.....	fissuré	50	Niveau d'eau à la base.
		Givétien.....	Calcaire de Givet.....	fissuré	50	
	Eifélien.....	Calcaire de Couvin.....	Schistes à Calcéoles.....	fissuré	400	Grand niveau et réservoir d'eau à la base.
		Schistes à Calcéoles.....	imp.	fissuré	0 à 550	
DÉVONIEN.....	Coblentzien.....	Grauwacke d'Hièrges.....	imp.	1400 à 2800	Niveau d'eau à la base.	
		Schistes rouges de Vireux et poudingue de Burnot.....				
	Gédinnien.....	Grès et grauwacke d'Anor, de Montigny et de Vireux.....	Schistes rouges et psammites de Fooz.	imp.	800 à 1650	Niveau d'eau à la base.
		Schistes de Mondrepuits et phyllades de Braux.....	Poudingue de Fépin et arkose de Weismes.....			

fissurés, l'eau se trouvant tant dans les fissures que dans les arènes provenant de la désagrégation des grès et poudingues. C'est ainsi que la ville de Seraing tire son nom d'une galerie à travers bancs creusée dans les grès, schistes et psammites du Coblentzien.

La partie supérieure du Terrain houiller et le Permien manquent complètement dans l'Ardenne et le bassin franco-belge.

b) *Boulonnais*. — Le bas Boulonnais est une extension de l'Ardenne : les terrains y affleurent par leurs tranches qui forment ainsi des bandes étroites. Le Dévonien inférieur manque ; le Givétien est représenté par le calcaire de Blacourt, et celui-ci est séparé du calcaire de Ferques (analogue de celui de Frasne) par les schistes de Beaulieu. Le calcaire carbonifère (séparé du calcaire de Ferques par les schistes du Famennien) comprend la dolomie de Hure, le calcaire du Haut-Banc, le calcaire Napoléon, et le calcaire à *Productus giganteus* qui correspondent tous les quatre au sous-étage de Visé. Le Terrain houiller est toujours schisteux.

c) *Armorique*. — On trouve diverses bandes appartenant au Dévonien dans le Cotentin, le Maine, la Bretagne et l'Anjou ; elles se rattachent au Coblentzien et la base en est toujours schisteuse, tandis que le dessus est calcaire (calcaire de Néhou, de Chassegrain, de Visé, d'Angers, calcaire à *Athyris undata*, etc.). Ces calcaires contiennent de l'eau arrêtée par les schistes inférieurs.

Le Carbonifère forme les trois bassins principaux de Château-lin, de Quimper et de Laval ; les calcaires de Sablé, de Changé, de Bourgon et de Laval représentent le sous-étage de Visé et sont aquifères.

d) *Lambeaux carbonifères et permien autour du Plateau Central*. — Ici le Dinantien n'a pas pris un développement calcaire semblable à celui du Nord. L'ensemble est donc à peu près complètement imperméable.

Quant aux lambeaux de Permien qu'on trouve dans l'Autunois, le Morvan, le Bourbonnais, le Limousin, les environs de Lodève, etc., après une base schisteuse et par suite imperméable, on trouve généralement une assise supérieure puissante de grès rouges fins : ces grès sont poreux, mais assez faiblement et ne donnent naissance qu'à de petites sources.

Ajoutons que, comme les terrains primitifs, le Primaire sert généralement de base à une nappe quand il est surmonté par un terrain plus récent qui soit perméable.

III. — TERRAINS SECONDAIRES (TRIAS, JURASSIQUE ET CRÉTACÉ)

a) *Jura-Trias dans la région est et sud-est du Bassin de Paris.*

— C'est dans l'Est de la France que l'on trouve la série la plus régulière de ces terrains ; c'est une alternance d'assises calcaires, argileuses et gréseuses qui s'emboîtent dans la grande cuvette formant le bassin de Paris et s'adossant aux Vosges et aux Faucilles. Comme toujours les nappes aquifères règnent à la base des bancs de grès et de calcaire, sur les argiles et marnes imperméables ; la pente étant généralement orientée vers Paris, les nappes plongent comme les couches et gagnent en profondeur en allant vers l'Ouest ou le Nord-Ouest : de là le caractère artésien que prennent plusieurs d'entre elles en certains points.

Pour indiquer l'emplacement le plus habituel des niveaux d'eau, nous avons dressé le tableau ci-après qui s'applique aux régions de la Lorraine et de la Champagne. On suivra aussi sur les coupes géologiques schématiques ci-jointes (coupe des

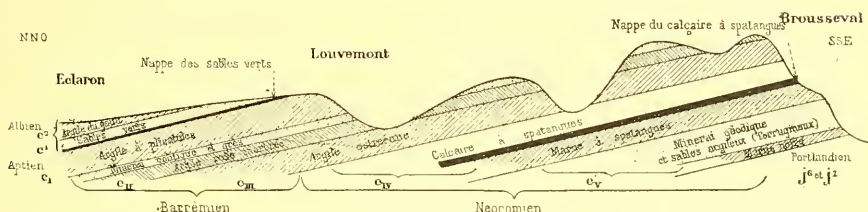


FIG. 4. — Coupe du CRÉTACÉ INFÉRIEUR AUX ENVIRONS DE WASSY et de SES NAPPES AQUIFÈRES.

Vosges à la Meuse au travers du département de Meurthe-et-Moselle (fig. 5), coupe de l'Infra crétacé dans la Haute-Marne, de Brousseval à Éclaron (fig. 4), et coupe des terrains du département de la Marne, Crétacé et Éocène, de Sainte-Menehould à Montmort) (fig. 6), ainsi que les détails de la composition du Bajocien inférieur et de la formation ferrugineuse telle que l'ont révélé les travaux de la galerie de captation des eaux souterraines sous la forêt de Haye près Nancy (fig. 7), la coupe de la vallée de la Meurthe et du plateau de Malzéville (fig. 8) montrant la superposition de plusieurs nappes, enfin le bassin d'alimentation de la source d'Arcier pour Besançon indiquant la provenance de ses eaux (fig. 9)¹.

1. Il n'est malheureusement pas possible de reproduire ici les vues des nombreuses sources que M. Imbeaux a montrées en projections à la conférence.

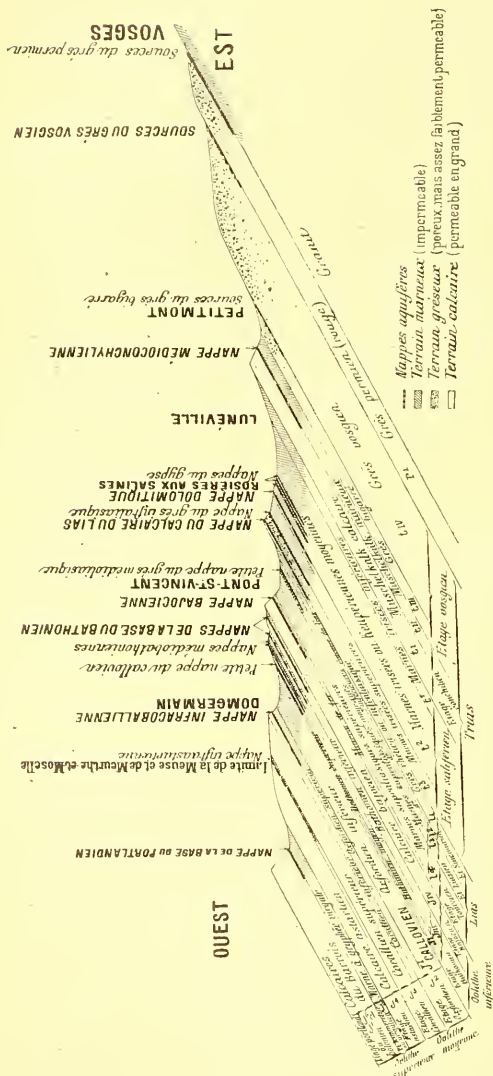


Fig. 5. — Coupe schématique du Jura-Trias de l'Est de la France et de ses nappes aquifères.

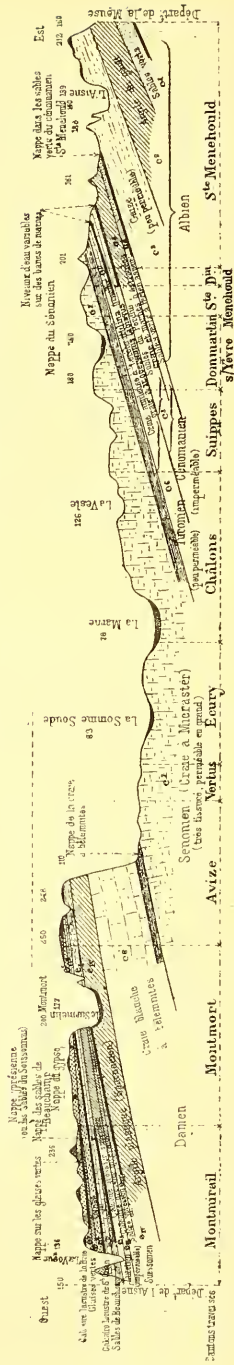


Fig. 6. — Coupe du Crétacé supérieur et de l'Éogène avec leurs nappes aquifères, en Champagne.

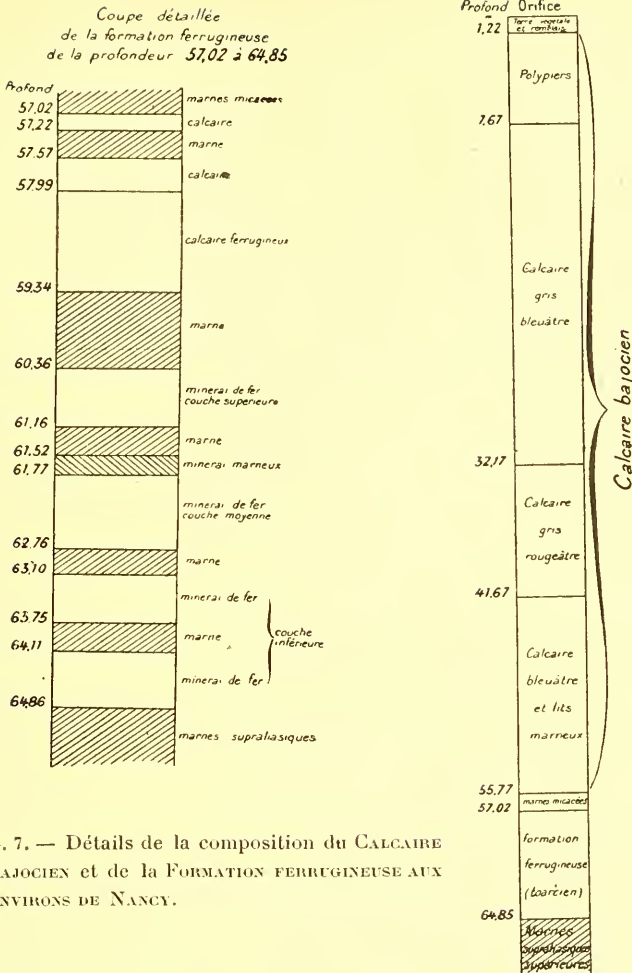


FIG. 7. — Détails de la composition du Calcaire BAJOCIEN et de la FORMATION FERRUGINEUSE AUX ENVIRONS DE NANCY.

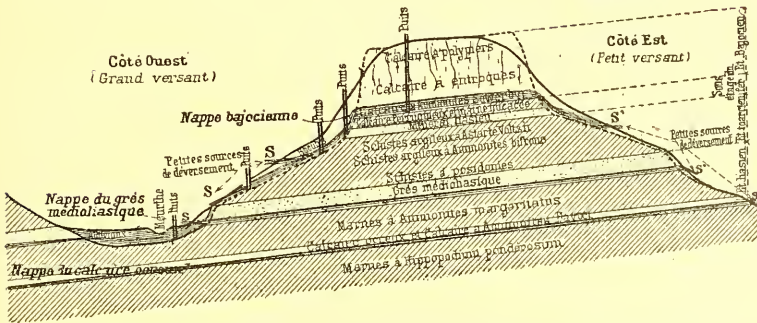


FIG. 8. — Coupe de la VALLÉE DE LA MEURTHE et du PLATEAU DE MALZÉVILLE PRÈS NANCY.

TERRAINS SECONDAIRES ET NAPPES AQUIFÈRES DANS LA PARTIE EST DU BASSIN DE PARIS.

TERRAINS	ÉTAGES	ASSISES	Notations de la Carte géologique	Perméabilité	ÉPAISSEUR moyenne.	NIVEAU D'EAU	
1	2	3	4	5	6	7	
SUPÉRIEUR	Danien.....	Marnes à rognons de Meudon et calcaire pisolitique.....	e^8	fiss.	m. 15 à 35	Cet étage manque souvent. Grande nappe sur une couche d'argile à la base (cette nappe peut être artésienne) [sources de la Vanne].	
	Sénonien.....	Craie à <i>Baculites</i> . — Craie de Meudon. Craie à <i>Micraster coraquinum</i> Craie à <i>Micraster cortestudinarium</i> Craie à <i>Micraster breviporus</i> (craie à silex dits cornus).....	e^7	fiss.	40 à 120		
	Turonien.....	Craie à <i>Holaster planus</i>	e^6	fiss.	50 à 70	Plusieurs nappes sur des bancs de marne.	
	Cénomanien.....	Craie à <i>Mammites nodosoides</i> et <i>Terebratulina gracilis</i> Marnes à Ostracées et sables du Perche.	e^5	imp.	0 à 20	Nappe importante à la base du Turonien [sources de l'Avre].	
		Craie glauconieuse, craie de Rouen.....	e^4	fiss.	20 à 60	Grande nappe à la base de la craie glauconieuse sur une couche de marne surmontant la Gaize.	
		Gaize de l'Argonne.....	e^3	un peu perm.	25 à 100	Petites sources dans les vallons de la Gaize.	
	Albien.....	Argile du Gault.....	e^2	imp.	6 à 30	Cavités qui laissent passer l'eau dans les sables verts.	
		Sables verts.....	e^1	perm.	5 à 20	Nappe (artésienne entre e_1 et e^2) des sables verts (puits de Grenelle).	
		Aptien.....	Argile à Plicatules et marnes à <i>Ostrea aquila</i>	e_1	imp.	8 à 10	
		Barrémien (ou Urgonien)	Argiles ostréennes et argiles panachées	e_{11} et e_{12}	imp.	2 à 20	
	Néocomien.....	Calcaire à Spatangues (Hauterivien)..... Sables et argiles réfractaires (Valanginien).....	e_{11} e_{12} e_{13}	fiss. imp.	3 à 15 10 à 15	Nappe dans le calcaire à Spatangues.	
CRÉTACE							
INFÉRIEUR							

JURASSIQUE		OOLITHE		LIAS		TRIAS	
INFERIEURE	Portlandien (Bononien)	Calcaires du Barrois	j^6 et j^7	fiss.	90 à 160	Nappe importante.	
		Marne à <i>Gryphea virgata</i>	j^5	imp.	80		
	MOYENNE	Kimméridgien Astartien	Calcaire lithographique et marnes à <i>Ostrea deltoidea</i>	j^4	fiss.	50	Petites nappes à la base sur des bancs argileux.
			Calcaire	j^3	fiss.	115 à 150	
SUPERIEURE	Corallien (Hauracten)	Argiles et marnes	j^2	imp.	110 à 160	Grande nappe infracorallienne.	
		Calcaires calloviens	j	fiss.	5 à 40		
	Oxfordien Callovien	Bathonien supérieur (marne)	j_1	imp.	10 à 15	Petite nappe.	
		Bathonien moyen	j_{11}	fiss.	15 à 25		
	Bathonien	Calcaires et marnes du Bathonien infé- rieur	j_{111}	fiss.	30 à 80	Petites nappes dans des bancs de calcaire peu épais.	
		Bajocien	j_{111}	fiss.	30 à 80		
LIAS	Toarcien Liasien	Calcaire bajocien	j_{111}	fiss.	35 à 90	Deux nappes importantes sur des bancs de marne, l'un à la base, l'autre au-dessus.	
		Marnes supraliasiques supérieures	l_4	imp.	70 à 150		
	Sinémurien	Marnes supraliasiques inférieures et moyennes	l^3	imp.	40 à 50	Grande nappe à la base du Bajocien.	
		Calcaire du Lias (à Gryphées)	l^2	fiss.	10 à 20		
TRIAS	Saliférien (ou Keuper)	Grès infraliasique ou Rhézien	l^1	perm.	20 à 50	Deux petits niveaux d'eau dans le calcaire ocreux et le grès médioliasique.	
		Marnes irisées supérieures	l^3	imp.	45 à 70		
	Conchylien	Marnes irisées moyennes	l^2	imp.	70 à 200	Nappe à la base sur la marne de Levallois.	
		Marnes irisées inférieures	l^1	imp.	30 à 40		
		Muschelkalk calcaire Muschelkalk marneux	Grès bigarré	l_{111}	semi-perm.	30 à 50	Petite nappe à la base. Nappe dans un banc de calcaire dolomitique à la base.
			Grès vosgien	l_{111}	perm.	300 à 400	
		Muschelkalk calcaire	l_1	fiss.	80	Plusieurs petites nappes au niveau du Eypsc.	
		Muschelkalk marneux	l_{11}	imp.	40 à 70		
		Grès bigarré	l_{111}	semi-perm.	30 à 50	Petites nappes au sommet. Nappe mésoconchyliennc.	
		Grès vosgien	l_{111}	perm.	300 à 400		

Le Jura-Trias remonte au Nord jusqu'au massif de l'Ardenne et s'enfonce dans ce qu'on appelle le golfe de Luxembourg, c'est-à-dire entre l'Ardenne et le Hochwald ; mais il y subit certaines modifications importantes. Les faciès sableux et gréseux du lias prennent une grande importance. Le grès de Luxembourg s'intercale ainsi, avec une puissance de 60 m., entre deux courbes de calcaire marneux : comme ce grès est poreux et fissuré, il assure à sa base un magnifique niveau d'eau, auquel appar-

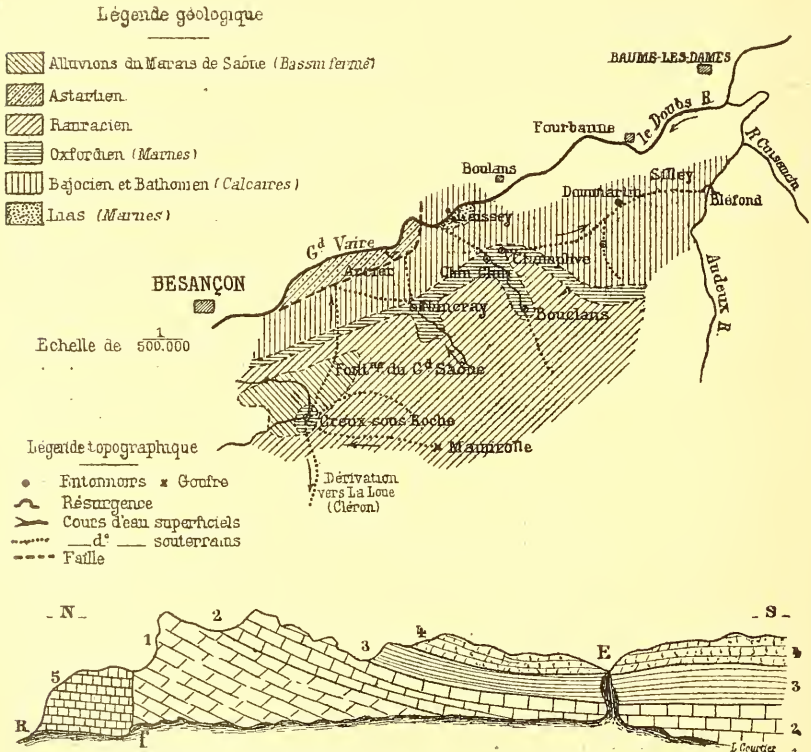


FIG. 9. — Plan et coupe de la région alimentant la source d'Arcier A BESANÇON (d'après Fournier).

1, Bajocien ; 2, Bathonien ; 3, Oxfordien ; 4, Rauracien ; 5, Jurassique supérieur.

tiennent les belles sources de Kopstal que vient de capter et relever mécaniquement la ville de Luxembourg. Il en est de même pour le grès de Virton sur la marne, de Strassen, dans le Luxembourg belge.

Vers le Sud, le Jurassique descend d'une part jusqu'en Bourgogne, d'autre part jusqu'aux plissures caractéristiques du Jura

franco-suisse, où le Crétacé inférieur entremêle ses bandes longitudinales à celles des étages jurassiques. Dans toute cette zone, comme d'ailleurs dans beaucoup d'autres, les calcaires du Muschelkalk, du Bajocien et plus encore du Bathonien, du Corallien et du Portlandien étant très fissurés sont caverneux et donnent naissance dès lors à des sources vauclusiennes. Leurs eaux ne sont donc pas toujours bien filtrées et les exemples ne manquent pas de sources de ces niveaux ayant causé des épidémies.

Je citerai à ce sujet les belles études de M. Fournier¹ sur les eaux de Besançon. On y voit les eaux engouffrées dans les entonnoirs du plateau rauracien de Nancrey (fig. 9), traverser les marnes oxfordiennes et circuler dans les fissures des calcaires bathonien et bajocien sous-jacents, pour ressortir en partie à la source d'Arcier par une faille (prolongement de Montfaucon) qui met ces derniers calcaires en contact avec le Jurassique supérieur : il n'y a pas moins de quatre bassins fermés, et M. Fournier a montré que celui de Creux-sous-Roche ne communique pas seulement avec Arcier, mais encore (en basses eaux du moins) avec la source du Maine située à 15 km. vers le Sud. C'est donc d'un véritable réseau souterrain qu'il s'agit, avec plusieurs points d'engouffrement et plusieurs émissions, pouvant jouer différemment suivant l'abondance et le niveau des eaux.

Avant de quitter le Jura, je signalerai encore la perte du Doubs à Arçon, près Pontarlier, et la réapparition de ses eaux à la source de la Loue (odeur d'absinthe à ladite source lors de l'incendie de l'usine Pernod à Pontarlier) ; les sources si caractéristiques des vallées fermées appelées « bouts du monde » (source de la Réverotte et source du Dessoubre) ; la source de Pontet, près de Mouthier (Doubs) au-dessous de la cavernes des Faux-Monnayeurs et la source de Baume-les-Messieurs (près Lons-le-Saunier) avec ses trois orifices superposés, etc. etc.

Revenant vers l'Ouest, on rencontre successivement les vallées de la Haute-Marne, de l'Aube, de la Haute-Seine, de l'Armançon, du Serain, de la Cure et de l'Yonne. Toutes ces régions occupées dans leur partie sud par le Bathonien moyen et dans la partie nord par le Séquanien et le Portlandien, ont été étudiées d'une part par MM. Diénert et Guillerd, d'autre part par M. Le Couppey de la Forest, comme recherches de nouvelles eaux pour Paris².

1. Rapport du 12 mars 1902 sur les causes de contamination de la source d'Arcier; Recherches spéléologiques dans la chaîne du Jura. *Mémoires de la Société de Spéléologie*; CR. Ac. Sc., CII.

2. Travaux de la Commission de Montsouris, 1901-1903.

Beaucoup de sources de ces régions sont aussi des réapparitions : l'abîme de Châteauvillain (pertes dans la forêt) ; la grosse source dans le village de Montigny-sur-Aube (ruisseaux s'engouffrant près de Louesne) ; dans les environs de Châtillon-sur-Seine, les Douix, les Abîmes, le Breuil, la fontaine Barbe (une faille principale dans le Bathonien moyen doit déterminer les pertes de l'Ource vers Crépan, de la Seine à Buncey, de la Laignes à Villemes-en-Duhesmois ; la grande forêt de Châtillon au Sud-Est de la ville absorbe toutes les eaux pluviales).

En remontant les vallées de l'Yonne et de ses affluents, on rencontre des couches de plus en plus anciennes, le pendage se faisant vers le NW., c'est-à-dire toujours vers Paris. A Augy, un peu à l'amont d'Auxerre, on trouve une grosse source résultant des deux failles de Quenne et de Saint-Bris ; les affleurements du Kimméridgien sont surmontés des calcaires portlandiens mais les eaux qui coulent sur le Kimméridgien rentrent dans terre quand elles arrivent sur les calcaires lithographiques du séquanien formant le fond de la vallée. Un peu à l'amont, les sources d'Escolives viennent nettement du Séquanien ; celles de la Place du Callovien ; les groupes de sources de Vermenton, de Reigny et de Druyes du Rauracien surmontant les marnes oxfordiennes ; celles de Crisenon et de Réchimey du Bathonien.

b) *Jura-Trias à l'Ouest du bassin de Paris et dans les Charentes.*
A l'Ouest du bassin de Paris, le Jurassique est bien moins développé qu'à l'Est : la bande du Bajocien ne s'élargit qu'au Nord, d'Argentan à Caen et Bayeux, en s'adossant au massif primaire armoricain et plongeant vers l'Est. Les caractères des calcaires sont semblables à ceux de la région de l'Est (sources de Moulines qui alimentent Caen, de Barbeville pour Bayeux, etc.).

Au Sud du massif armoricain, une assez grande étendue de Jurassique s'étale dans les Charentes et dans le Poitou : les couches plongeant (assez fortement d'abord, puis plus faiblement) vers le Sud, on trouve les terrains les plus anciens au Nord. Ainsi on trouve au pied de la falaise bajocienne : les sources du Vivier à Niort (la caserne Duguesclin est bâtie juste au-dessus) ; la source Saint-Martin à Saint-Maixent (le cimetière et une partie de la ville sont bâtis au-dessus), les sources de Fleury déjà captées par les Romains et amenées à Poitiers. A Ruffec, les eaux de la source du Lien passent sous le plateau callovien-bathonien (épais de 20 m. seulement) qui porte la ville et correspondent à une perte de la Péruse ; la réapparition de la Boutonne à Chef-Boutonne vient aussi du même niveau géologique.

Le Corallien et l'Astartien (Séquanien) règnent aux environs de

la Rochelle (fig. 10) : on y trouve un niveau d'eau très constant à la base des calcaires à *Montlivaultia* sur ce qu'on appelle le *banc bleu* (imperméable). Plus au Sud le Kimmeridgien (*Pierre chenine*) est imperméable ; mais les calcaires portlandiens donnent naissance à des résurgences comme celle de la Touvre (réapparition du Bandiat et de la Tardoire) qui alimente Angoulême.

c) *Jura-Trias dans le reste de la France.* — Les terrains secondaires forment comme une demi-couronne autour du massif du Plateau Central dans sa moitié sud, avec deux expansions importantes correspondant aux causses du Lot et aux causses de l'Aveyron. Le Trias y est peu développé : dans l'arrondissement

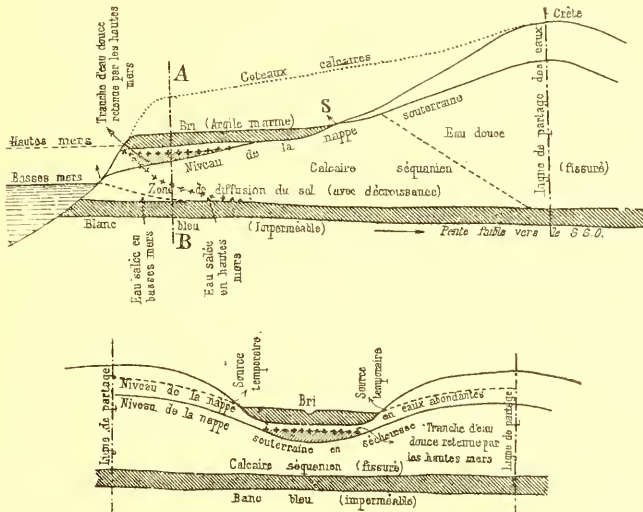


FIG. 10. — Coupes longitudinale et transversale d'un VALLON CALCAIRE (SÉQUANIEN) DES ENVIRONS DE LA ROCHELLE.

du Vigan et dans l'Aveyron, les marnes irisées arrêtent les eaux qui ont traversé le Lias et l'Oolithe presque entièrement calcaires et donnent naissance à de grosses sources, telles que celles des Fous, d'Arre, de la Fouzette (au pied du causse de Blandas) ; les grès triasiques de la région de Brives sont caverneux ; les calcaires magnésiens du Muschelkalk, là où ils existent, sont très aquifères. Dans le Lias, le calcaire à Gryphées arquées est un niveau d'eau général, mais le Charmouthien et le Toarcien sont d'ordinaire imperméables : la fameuse perte de Bramabiau (ruisseau le Bonheur) se fait dans les calcaires bruns infra-liasiques, entre le Causse Noir et le Mont Aigoual.

C'est surtout l'Oolithe qui est ici caverneuse et fissurée : les grosses sources contaminées comme celle des Chartreux à Cahors, celle de la Sauve (Gard), de Bonnette (Lot-et-Garonne) abondent. Les causses sont aujourd'hui bien connus, grâce aux explorations de MM. Martel et Gaupillat. Dans ceux du Lot, on trouve : 1° à la base, une falaise de dolomies inférieures très fissurées ou de calcaires compacts stratifiés (Bajocien); 2° des calcaires plus ou moins argileux (Bathonien); 3° des dolomies supérieures (Bathonien); 4° en haut, les strates assez minces du Callovien et de l'Oxfordien, faciles à désagrèger (ce qui explique la facilité d'agrandissement des ouvertures des avens).

Enfin, en outre d'une bande très étroite au pied des Pyrénées, il ne reste plus guère à signaler que le grand massif jurassique du Sud-Est, remontant jusqu'assez loin au Nord dans les Alpes. Dans la partie montagneuse, le Bajocien et le Bathonien prennent souvent le faciès schisteux et deviennent imperméables; mais dans le Var et les Alpes-Maritimes, l'Oolithe donne naissance à de nombreuses grosses sources dont plusieurs alimentent les villes du littoral. Ainsi Fréjus, Fayence, Saint-Raphaël se partagent les eaux des sources de Laugier (Oolithe inférieure) déjà captées par les Romains dans le vallon de la Siagnole; Grasse distribue les sources du Foulon (Bajocien); Cannes, Vallauris et Le Cannet viennent d'amener les sources du Loup (les deux sources de Gréolières paraissent sortir du Crétacé, mais les eaux proviendraient plutôt du Jurassique supérieur par cassures ascendantes; quant à la troisième source, dite de Bramafau, elle vient du Bajocien); Antibes et Vence boivent les sources du Riou et des Sourcecs qui naissent du Jurassique supérieur dans la haute vallée de la Cagne; à Nice, la source de Sainte-Thècle provient du massif d'Oolithe supérieure (surmontée du calcaire glauconieux du Cénomanién) situé à l'Ouest du mont Agel; à Toulon, enfin, le puits du Ragas et la source de la Foux (qui donne quand le puits déborde) sont alimentés par le massif du Grand Cap (Jurassique supérieur et Urgonien).

La fameuse source de Fontaine-l'Évêque ou de Sorps, qui jaillit près du Verdon et débite de 3 à 15 mc. par seconde, paraît ramener au jour les eaux tombées sur la grande étendue de Portlandien située à l'Ouest et au Sud-Ouest (les deux Plans de Canjuers, où il y a des avens). C'est dans ces calcaires blancs (épais de 500 m.) que s'ouvrent les cañons du Verdon, et des pertes de cette rivière, du Jabron et de l'Artuby paraissent alimenter aussi la source. A Sorps, les calcaires viennent buter contre la formation miocène des poudingues de Riez, à galets impression-

nés. La source a des trop-pleins appelés les *Garruby*, étagés de 11 à 35 mètres au-dessus d'elle et n'entrant en fonctionnement qu'à certains moments : on a songé à régulariser son débit par un serrement.

d) *Crétacé dans le Bassin de Paris.* — Nous connaissons déjà le Crétacé de la Champagne : on voit par le tableau donné précédemment que le Crétacé inférieur ne donne que fort peu d'eau, la nappe la plus remarquable étant celle des sables verts albiens qui s'alimente aux affleurements, devient artésienne et se retrouve sous Paris entre 500 et 700 m. (puits artésiens de Grenelle, Passy, de la place Hébert, de la Butte-aux-Cailles, de Maisons-Laffitte).

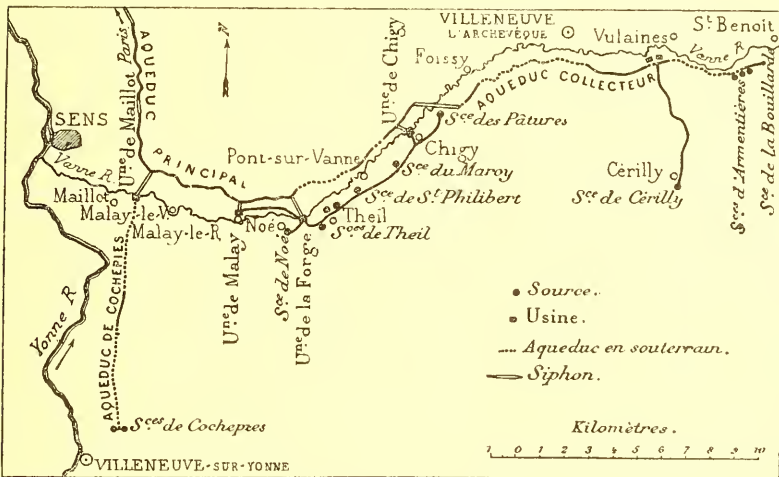


FIG. 11. — Carte des sources de LA VANNE.

Le Crétacé supérieur (Turonien et Sénonien) contient deux grandes nappes, chacune à la base d'un de ces étages (les sources du Sénonien prennent le nom de *Sommes*¹). Ces nappes alimentent un grand nombre de puits, et les villes d'Épernay et de Châlons-sur-Marne ont eu l'avantage de trouver à une cinquantaine de mètres de profondeur la nappe de la base du Sénonien assez artésienne pour se rapprocher à quelques mètres de la surface.

1. Rappelons que Belgrand avait songé à amener à Paris les sources de la Somme-Soude ainsi que celles de la vallée du Grand-Morin (fontaines de Chailly et de Mauperthuis), mais les variations de débit de premières étaient trop grandes (elles ont été à sec en 1893), et le niveau des secondes était trop bas.

Le Crétacé occupe encore une vaste région au Nord du bassin de Paris, une bande assez large à l'Ouest et une bande plus mince au Sud de ce bassin. C'est dans ces bandes périphériques que naissent au Sud-Est les sources de la Vanne et celle du Loing et du Lunain, à l'Ouest celles de l'Avre et de la Vigne. La commission de Montsouris a étudié en détail toutes ces régions qui, grâce à elle, sont aujourd'hui admirablement connues. Je ne ferai qu'en esquisser l'hydrogéologie.

1^o *Région des sources de la Vanne* (fig. 11). En voici la description que donne Léon Janet :

Presque toutes les sources captées par la Ville de Paris se trouvent dans la vallée de la Vanne, sur la rive gauche, entre Saint-Benoît et Noé; la source de Cérilly jaillit dans un vallon latéral à environ 5 km. de la Vanne; quant aux sources de Cochepies, qui forment un groupe tout à fait à part, elles sont situées dans la vallée du ruisseau Saint-Ange, à 2 km. de l'Yonne.

Les vallées de l'Yonne et de la Vanne sont bordées par des coteaux qui les dominent d'environ 150 mètres, constitués presque entièrement par de la craie. Les plateaux sont recouverts par de l'argile à silex, des lambeaux discontinus de terrains tertiaires et un peu de limon. Le fond des vallées de l'Yonne et de la Vanne est garni d'alluvions. Une mince couche d'éboulis garnit les pentes des coteaux. Les assises géologiques, à peu près horizontales, présentent cependant un relèvement marqué vers le Sud-Est.

Dans la vallée inférieure de la Vanne, la *craie* qui constitue les coteaux voisins appartient au *Sénonien* et comprend principalement de la *craie à Micraster*, recouverte par une faible épaisseur de *craie à Bélemnites*. C'est une craie blanche, tendre, traçante et renfermant d'assez nombreux silex, en banes horizontaux, moins nombreux dans la *craie à Micraster* que dans la *craie à Bélemnites*. Cette craie est recouverte, surtout dans les vallées et sur les pentes, d'une certaine épaisseur de *craie remaniée*, constituée surtout par des fragments de craie jaunie et du limon.

Dans la vallée de l'Yonne, à la hauteur de Sens, les coteaux sont constitués par les mêmes terrains; mais, en raison du relèvement général des couches vers le Sud-Est, on trouve en remontant la vallée des terrains de plus en plus anciens. C'est ainsi que l'on voit apparaître à la base des coteaux, la *craie marneuse* (*Turonien*) à partir de Ville-neuve-sur-Yonne, et la *craie glauconieuse* (*Cénomanién*) à partir de Joigny. L'épaisseur totale des assises de craie est de 300 à 400 mètres; elles reposent sur les *argiles de Brienne*, appartenant à l'*étage albien*, qui n'affleurent pas dans la région.

L'*argile à silex* est assez épaisse sur les plateaux où elle atteint 10 à 20 mètres, et n'a qu'une puissance insignifiante sur les pentes. Elle résulte de l'action sur la craie des eaux pluviales, qui, dépourvues de

chaux, mais contenant de l'acide carbonique, dissolvent le carbonate de chaux, en laissant comme résidu l'argile et les rognons de silex ; elle n'a pas d'âge déterminé et se forme dans toutes les périodes géologiques où une surface crayeuse se trouve émergée ; il s'en produit encore de nos jours. Le contact de la craie et de l'argile à silex, en raison même de ce mode de formation, est très irrégulier, et présente une série de poches à parois souvent presque verticales.

Les thalwegs qui aboutissent à la vallée de la Vanne et à celle de l'Yonne sont souvent à sec jusqu'au voisinage de leur débouché dans la vallée principale. Toutefois quelques-uns sont, en certains points, parcourus par des cours d'eau, peu importants, mais pérennes. L'eau de ces ruisseaux disparaît souvent pour reparaitre un peu plus bas et disparaître à nouveau ; la même vallée présente successivement des zones de sources, ou zones *émissoives*, et des zones de pertes, ou zones *absorbantes*. Dans la vallée du ru Galant, qui débouche dans l'Yonne, près de Ville-neuve-sur-Yonne, on peut distinguer quatre zones émissives, séparées par trois zones absorbantes.

L'argile à silex, l'argile plastique et le limon des plateaux ne sont pas assez continus et ne renferment pas de couche assez nettement imperméable pour retenir une nappe d'eau importante. Les eaux pluviales qui tombent sur les plateaux s'infiltrent lentement dans ces terrains ; les lentilles argileuses qu'ils renferment retiennent quelque temps les eaux en donnant de petites nappes secondaires, mais celles-ci finissent par gagner le substratum crayeux. La craie, qui serait à peu près imperméable si elle était compacte, est, comme presque partout, découpée par un réseau de *diaclasses*, où les eaux pénètrent et circulent facilement en formant une véritable *nappe*. Le niveau *piézométrique* de cette nappe est déterminé par la cote et la distance des thalwegs voisins ; il est très peu différent de ces thalwegs à leur voisinage et se relève progressivement, à mesure qu'on s'en éloigne, pour aller sous les plateaux. En même temps les variations du niveau piézométrique dans les saisons sèche et pluvieuse sont beaucoup plus fortes sous les plateaux qu'au voisinage de la vallée de la Vanne ; dans le premier cas elles peuvent atteindre 15 à 20 mètres, tandis que dans le second cas elles ne paraissent pas dépasser 2 à 3 mètres.

Ce sont les eaux circulant dans les fissures de la craie sénonienne qui alimentent les sources captées par la Ville de Paris. Les sources sont des *sources de thalweg*, c'est-à-dire que leur émergence n'est pas déterminée par l'affleurement d'une couche imperméable, mais par l'existence d'une dépression géographique telle que le niveau piézométrique de la nappe souterraine est plus élevé que le niveau du sol.

C'est probablement cette seule considération du niveau piézométrique qui permet d'expliquer les successions de zones émissives et absorbantes que l'on rencontre dans une même vallée. Lorsque la surface piézométrique de la nappe est plus élevée que la surface topographique, on a une zone émissive ; lorsqu'elle est plus basse, on a une zone absorbante. Pour expliquer une succession de zones de cette nature, il suffit que les courbes d'intersection des surfaces piézométrique et topographique, d'une part, d'un cylindre vertical ayant pour directrice la ligne de thalweg, d'autre part, se coupent en un certain nombre de points.

Les recherches ultérieures ont démontré l'existence dans la craie de larges cavernes, placées sur le trajet de véritables ruisseaux souterrains et creusées par les eaux (surtout par les eaux antédiluviennes plus abondantes que celles d'aujourd'hui) : M. Le Couppey de la Forest est descendu dans un bon nombre de ces puits-cavernes (La Guinand, puits Guérée, puits Savinien-Morissat, puits du Vaumorin, puits et caverne du presbytère des Bordes, etc.). De nombreuses expériences à la fluorescéine et à la levure de bière ont prouvé la communication de tous ces puits et cavernes avec la nappe des sources, en sorte que toute cause de pollution introduite par un de ces points menace directement la pureté de l'eau des sources.

Les cavernes souterraines s'éboulent parfois en produisant à la surface des entonnoirs d'effondrement ou *mardelles*. Ici ces phénomènes d'effondrement ne se sont pas produits avec la même intensité que dans la région de l'Avre, et les grandes mardelles sont relativement rares ; cela tient, d'une part, à ce que les différences de niveau entre les vallées et les plateaux sont beaucoup plus fortes, en sorte que les cavernes se trouvent généralement à une plus grande profondeur, d'autre part à ce que l'argile à silex est peu épaisse, et qu'il est beaucoup moins fréquent qu'une caverne arrive en contact avec une poche d'argile à silex, ce qui amène presque sûrement un effondrement. Cependant le nombre des mardelles de petite dimension est encore assez grand. Lorsque l'orifice de ces mardelles se trouve plus bas que la surface piézométrique de la nappe souterraine, elles donnent naissance à une source (*mardelles-sources*) : lorsqu'il est plus élevé, elles absorbent les eaux, si elles se trouvent dans un thalweg (*mardelles-bétoires*) et n'ont pas de rôle hydrologique appréciable, se bornant à recevoir en cas d'averse les eaux des champs voisins, si elles se trouvent sur un plateau.

Les mardelles-bétoires ne sont pas les seuls points d'absorption des eaux ; celles-ci disparaissent aussi parfois dans des *bé-*

toires d'affouillement, creusés de haut en bas, et dans des lits poreux, où l'eau gagne par d'étroites fissures la nappe souterraine. C'est ce dernier mode de perte qu'on rencontre le plus souvent dans la région de la Vanne.

2^e Région des sources du Loing et du Lunain (fig. 12). — Continuons à citer Léon Janet :

Les sources en question forment deux groupes, celles des Bignons de Bourron et du Sel dans la vallée du Loing, et celles de Saint-Thomas et des Bignons du Coignet dans la vallée du Lunain.

Les vallées du Loing et du Lunain au droit de ces sources ont été creusées dans la craie blanche (*étage sénonien*), et dans les assises tertiaires, constituées principalement, en partant de la base, par des

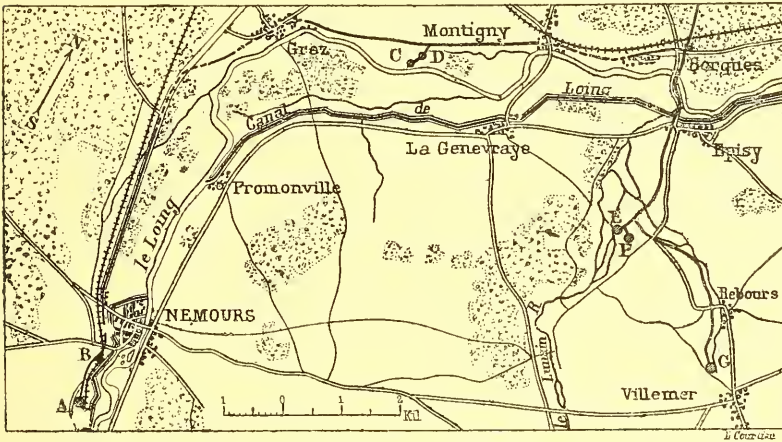


FIG. 12. — Carte des sources du LOING ET DU LUNAIN.

A, Chantréanville; B, La Joie; C, Le Sel; D, Bignons-de-Bourron; E, Saint-Thomas; F, Bignons-du-Coignet; G, Villemer.

argiles accompagnées de conglomérats atteignant une grande épaisseur près de Nemours, mais très réduits à Montigny-sur-Loing (*étage sparnacien*), puis par des travertins siliceux bréchiformes, parfois marneux et tendres, mais le plus souvent très durs, puissants d'environ 30 mètres, surmontés par des calcaires *sannoisiens*, exploités sous le nom de pierre de Souppes ou de Château-Landon.

Les travertins siliceux intercalés entre le *Sparnacien* et le *Sannoisien* avaient, jusqu'à présent, été, à cause de leur aspect lithologique, considérés comme Ludiens; mais la découverte que nous avons faite en 1899 de fossiles (*Limnæa longiscata*, *Plaurorbis goniobasis*), dans un banc se trouvant à 10 mètres au-dessus de l'argile *sparnacienne*, a montré que les 20 ou 25 mètres de calcaires siliceux et marneux se trouvant au-dessus devaient seuls être maintenus dans le *Ludien*, et que les calcaires existant au-dessous représentaient le *Bartonien* seul, ou associé au *Lutétien*.

Ces assises géologiques, à peu près horizontales, se relèvent cependant nettement vers l'Est.

Les alluvions sont constituées, à la base, par un diluvium pléistocène, composé de sables plus ou moins grossiers et de graviers roulés dont les éléments comprennent des silex de la craie très nombreux, quelques fragments de grès de Fontainebleau, et de calcaires siliceux *Indiens* ou *sannoisiens*. On trouve, dans le diluvium de la vallée du Loing, de gros blocs de conglomérat *sparnacien* de Nemours.

Le diluvium pléistocène est recouvert par une couche de tourbe d'âge relativement très récent. Il repose sur une couche de craie jaune remaniée au-dessous de laquelle on trouve la craie sénonienne en place.

Les eaux des sources qui nous occupent circulent dans des diaclases de la craie sénonienne et se font jour à travers la craie remaniée et les alluvions.

Le bassin d'alimentation de ces sources n'est pas bien connu. On a dit que certaines sources de la vallée du Lunain n'étaient que les réapparitions des pertes de la rivière supérieure, mais le fait ainsi présenté paraît inexact, et tout ce que l'on peut avancer avec quelque vraisemblance, c'est que les pertes du Lunain contribuent à alimenter la nappe de la craie donnant naissance aux sources.

Ajoutons qu'en 1901, M. Diénert a reconnu l'existence de quelques mardelles sur le plateau entre Loing et Lunain, et de nombreux bétoires *capables d'engouffrer toute la rivière* dans la vallée du Lunain. La fluorescéine versée dans deux de ces bétoires est apparue dans plusieurs sources, entre autres dans celle de Villemer, qui paraît la moins sûre de celles captées par la ville de Paris et mérite d'être abandonnée.

3^e Région de l'Arre et de la Vigne (fig. 13). — Cette région, des sources de l'Arre supérieure et de ses affluents jusqu'à Verneuil, est faiblement inclinée vers le Nord-Est. Les assises géologiques plongent également vers le Nord-Est, mais avec une pente un peu plus forte, si bien qu'en descendant le cours des rivières supérieures on trouve des assises de plus en plus récentes.

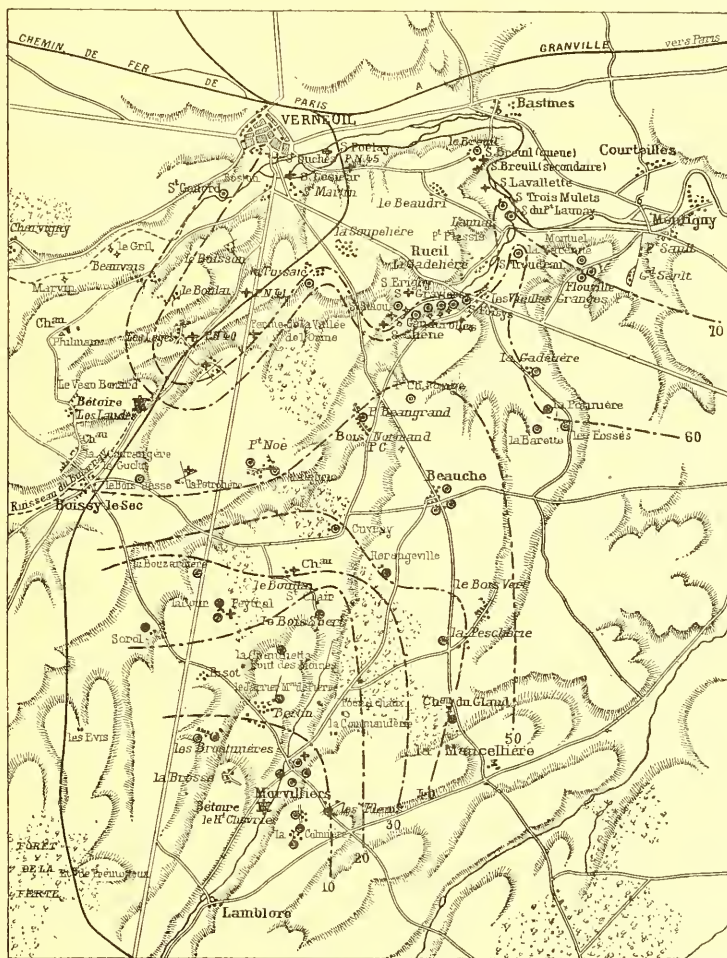
Le Cénomaniens, représenté au sommet par des sables quartzeux (Sables du Perche) et à la base par la craie glauconieuse, est en affleurement au Sud d'une ligne passant par Randonnai, Irai, Saint-Maurice, Moussonvilliers, Reveillon et la Ferté-Vidame.

Le Turonien, constitué par de la craie marneuse, repose sur le Cénomaniens au Nord de la même ligne.

Le Sénonien, constitué par de la craie blanche, recouvre l'étage turonien à partir d'une ligne passant par Baslines, Rueil-la-Gadelière et Brezolles.

L'Argile à silex recouvre d'un épais manteau les craies cénomaniennes, turoniennes et sénoniennes, et constitue le sol de la région recouverte d'alluvions modernes dans la partie haute des vallées de l'Arre supérieure et de ses affluents. Elles rendent, là où elles existent, le sol à peu près imperméable.

On comprend dès lors comment les eaux de surface de la zone supérieure imperméable rentrent en terre au contact de la craie turo-nienne fissurée (zone des bétaires), et comment elles ressortent plus bas



Légende

Bétaires * Puits ou sources non colorés +
Courses isochronométriques - - - - - a' colorés ○

FIG. 13. — Carte des sources de L'AYRE ET DE LA VIGNE et expériences de Marboutin à la fluorescéine.

(zone des sources) lorsque le niveau piézométrique devient supérieur à celui du sol. Comme la nappe oscille en hauteur suivant les conditions météorologiques on conçoit ainsi que certaines mardelles qui sont

absorbantes quand la nappe est basse deviennent débitantes (sources) quand elle est haute (fig. 14).

C'est ainsi que, dans la vallée de l'Avre, tous les entonnoirs d'effondrement situés au-dessus de La Lambergerie sont des bétomes ; que ceux situés entre La Lambergerie et Le Poëlay donnent naissance à des sources tarissant l'été, et pourraient, à ce moment, absorber l'eau qui leur arriverait ; enfin que ceux situés au-dessus du Poëlay et dans la vallée de la Vigne donnent des sources pérennes ou du moins ne tarissant qu'à la suite de périodes de sécheresse tout à fait exceptionnelles.

Le nombre de ces entonnoirs d'effondrement est considérable ; il en existe plus de cent. Quelques-uns ont jusqu'à 25 mètres de diamètre et 0 mètres de profondeur. On voit quelles dimensions considérables

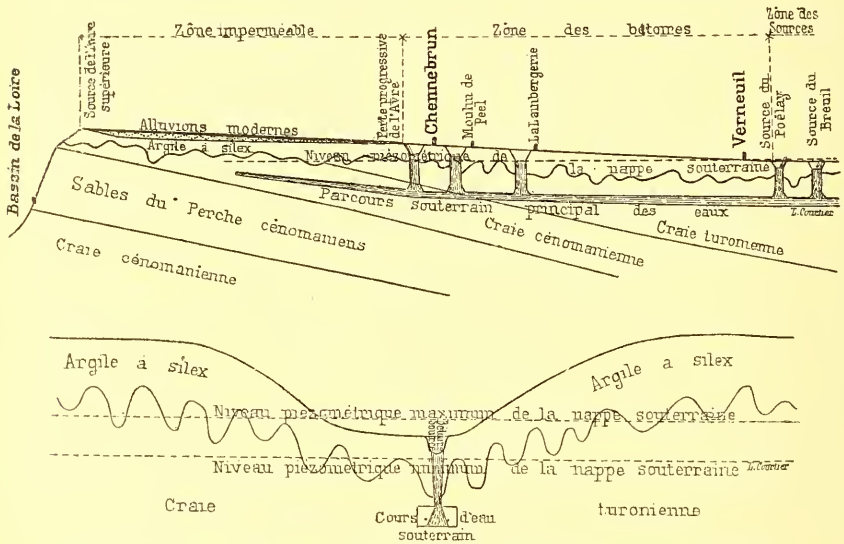


FIG. 14. — Coupe géologique longitudinale et coupe transversale suivant la VALLÉE DE L'AVRE (de la source de l'Avre supérieure jusqu'au Breuil).

ont, dans certains points, les cavernes souterraines servant à la circulation des eaux.

On n'a pas souvenir, dans le pays, de l'époque à laquelle se sont produits la plupart de ces entonnoirs d'effondrement, mais quelques-uns ne datent que de peu d'années.

Les cavités souterraines vont d'ailleurs en grandissant constamment, le carbonate de chaux dissous dans les eaux des sources étant, comme nous l'avons déjà dit, en majeure partie emprunté à leurs parois. Il en résulte que de nouveaux entonnoirs se produiront encore, et il serait parfaitement possible qu'un jour un effondrement s'effectuât juste au-dessous d'une maison et déterminât un grave accident.

Nous devons faire remarquer toutefois que, quelque important que soit le rôle hydrologique des entonniers d'effondrement, ce n'est pas uniquement à eux que doivent leur existence toutes les pertes d'eau et toutes les sources. Certains bétoires se trouvent en effet dans des lits poreux, où l'eau pénètre facilement dans l'argile à silex, puis gagne la nappe souterraine par des diaclases de la craie. De même ces diaclases de la craie peuvent amener dans l'argile à silex, et au jour, les eaux de la nappe souterraine lorsque le niveau piézométrique de la nappe est plus élevé que celui du sol.












Un peu plus au Nord, M. Diénert (Travaux de la même Commission) a également étudié l'hydrologie des vallées de l'Eure et de l'Iton. Les sources de Pacy-sur-Eure, de Fontaine-sous-Jouy sont, comme nous en avons vu précédemment, des sources de thalweg, dont les eaux remontent par une véritable cheminée verticale. Le courant des Boschérons, étudié en détail, paraît bien communiquer avec l'Iton (très souillé), par des portions absorbantes du lit, et aussi en temps de crue par des bétoires.

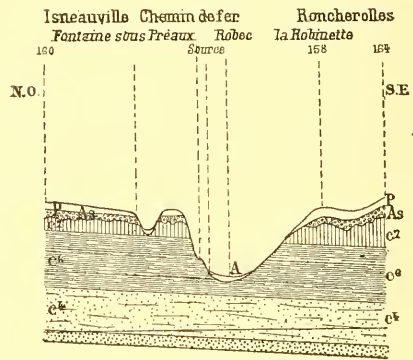
Encore plus au Nord et au delà de la Seine, nous trouvons la région normande, qui va se terminer par les falaises crayeuses de la Manche entre Le Havre et l'embouchure de la Somme. Ces falaises sont très intéressantes à Étretat, Yport : on y voit les fissures qui les divisent, et les sources qui naissent au pied et à différentes hauteurs sont nombreuses ; il y en a même qui naissent en dessous du niveau de la mer (source captée à Yport).

Nous devons signaler une belle étude de MM. Dollfus et Fortin sur l'hydrologie des environs de Rouen et l'origine des sources alimentant cette ville. La vallée du Robec est ouverte dans le Cénomancien et les coteaux sont formés par le Turonien surmonté du Sénonien (fig. 15) : les bancs de ces derniers sont très fissurés et si nous ajoutons que le vallon de Fontaine-sous-Préaux est l'abouchement dans la vallée du Robec d'un synclinal et probablement d'une cassure venant directement du village d'Isneauville, on sera porté à penser que les eaux usées de ce village se sont sans doute mêlées aux sources de Fontaine et les ont contaminées à diverses reprises. Les sources sortent de la craie turonienne, qui contient à sa base et dans son milieu des bancs assez argileux pour arrêter l'eau. Voici du reste, d'après M. Dollfus, la succession et l'épaisseur des couches de cette région (en allant de haut en bas) :

Limons du Pléistocène supérieur (1 à 10 m.), limon des plateaux (2 à 6 m.), Diluvium de la Seine (2 à 7 m.), sable blanc ou jaune éocène (1 à 6 m.), argile à silex éocène (2 à 20 m.), craie du Sénonien moyen (14 m.), craie du Sénonien inférieur (30 m.), craie blanche du Turonien supérieur (25 m.), craie blanche du Turonien moyen (30 m.), craie grisâtre et marneuse du Turonien

inférieur (25 m.), craie glauconieuse du Cénomanien supérieur (20 m.), craie sableuse et sables gris et verts (15 m.), argile grise ou gaize du Cénomanien inférieur (10 m.), sables verts albiens et gault (15 m.), gris et sables jaunes ou bleuâtres portlandiens (12 à 20 m.), argiles et marnes du Kimméridgien (60 m.).

- A  Limon de lavage
- a¹  Diluvium.
- p  Limon des plateaux
- As  Argile à silex
- c¹  Sénonien Craie blanche
- c  Turonien supérieur
- c^b  Turonien moyen
- a  Turonien inférieur
- c^b  Cénomanien Craie glauconieuse
- c^a  Albien (Sables du Gault)
- J  Jurassique (Portlandien Kimméridgien)



Coupe transversale de la VALLÉE DU ROBEC A FONTAINES-SOUS-PRÉAUX.

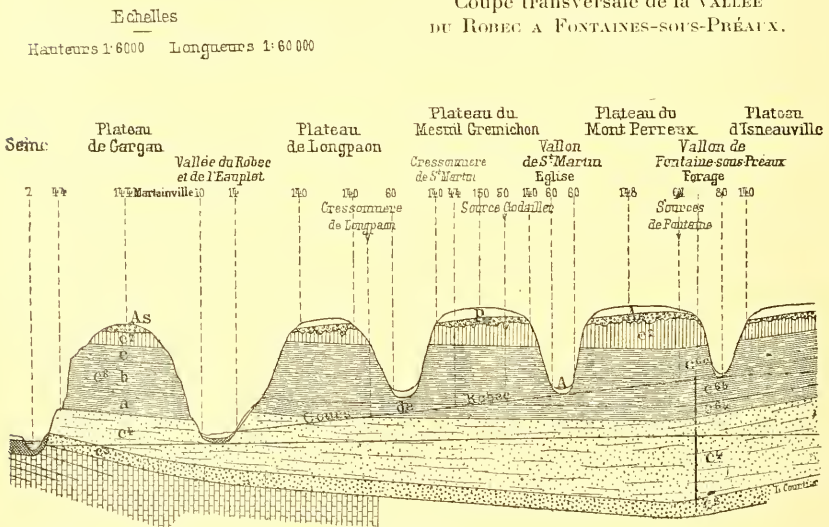


FIG. 15. — Coupe longitudinale de la VALLÉE DE ROBEC ET DES COTEAUX DE LA RIVE DROITE. ORIGINE DES SOURCES DE ROUEN (d'après MM. Dollfus et Garnier).

e) Crétacé au Nord du bassin de Paris. — Sauf la partie dévonienne de l'arrondissement d'Avesnes, le Boulonnais et le pays de Bray où réapparaît le Jurassique, les départements du Nord, du

Pas-de-Calais, de la Somme, de la Seine-Inférieure et la moitié Nord-Ouest de l'Oise sont entièrement formés par la craie que recouvre par endroits des lambeaux d'Éocène ou des lambeaux souvent plus étendus d'alluvions ; le Crétacé repose sur le Carbonifère. Les couches vont d'ailleurs en plongeant vers le Nord ou le Nord-Ouest. C'est la terre classique des puits artésiens.

D'après Gosselét, dans les trois départements du Nord, on trouve les nappes suivantes (dont plusieurs sont artésiennes) en allant de la profondeur vers la surface :

a) Nappe du calcaire carbonifère, généralement dans l'assise de la dolomie.

Crétacé. — b) Nappes, mais peu constantes et peu étendues, dans les sables du Gault et dans les marnes à *Belemnites plenus* du Cénomanién (La Capelle, Nouvion, Guise).

c) Nappe des marlettes (souvent plusieurs nappes dans les marlettes), au-dessus des dièves imperméables (base du Tronien).

d) Plusieurs nappes parfois dans la craie à silex cornus (sommet du Turonien) sur des bancs de marne.

e) Nappes du tun (base du Sénonien). Aux environs de Lille, il y a 2 couches de tun séparées par quelques mètres de craie sableuse et une nappe à la base de chaque tun.

f) Nappe de la craie blanche à *Micraster* (Sénonien) ou craie fendillée, pouvant être artésienne sous l'argile de Louvil (eaux de Roubaix-Tourcoing, Dunkerque, Douai, etc.).

Tertiaire. — g) Nappe des sables landéniens (sables de Bracheux) sur l'argile de Louvil.

h) Nappe des sables yprésiens (près de Mons-en-Pévèle) sur l'argile plastique.

i) Nappe des sables de Cassel (base du Parisien) sur l'argile des Flandres.

j) Nappe des sables de Diest (Pliocène) sur l'argile à *Pecten corneus*.

Quaternaire. — k) Nappe des sables de Bourbourg.

l) Nappe des dunes, le long de la côte.

m) Nappe des alluvions dans le fond des vallées.

Dans toute la Flandre le sol étant recouvert d'une couche argileuse peu perméable, les sources sont rares. Ailleurs elles résultent des affleurements des nappes ci-dessus dans les vallées ; il faut souvent s'adresser aux nappes profondes par des forages.

En Belgique, le Hervien (Sénonien) contient à la base une couche d'argile, très importante au point de vue aquifère : cette couche empêche l'eau de descendre dans le terrain houiller et constitue une nappe dans la craie (alimentation de la ville de

Liège). Notons que les couches crétacées et tertiaires de la moyenne et de la basse Belgique plongent toutes régulièrement vers le NNW. avec une pente de 5 mètres par kilomètre : les nappes ont donc leur écoulement dans le même sens.

Mais il faut maintenant mentionner les nouvelles vues de M. Gosselet¹ sur la situation et l'écoulement de l'eau dans la craie : elles s'appuient sur les données hydrologiques obtenues lors du creusement des puits des concessions de Lens et de Courrières. La figure 16 résume un certain nombre de ces données, les chiffres à droite des coupes indiquant les profondeurs, et ceux à gauche les venues d'eau en mètres cubes rencontrées aux différents niveaux.

M. Gosselet reconnaît toujours bien que la craie est le plus souvent fissurée ou fendillée et que le réseau de ses fissures contient en général de l'eau ; mais il n'est pas nécessaire qu'il y ait des bancs argileux intercalés pour arrêter l'eau, il suffit que la craie soit restée compacte dans certains bancs (qui sont alors durs) : c'est ce qui constitue notamment l'imperméabilité du *tun* ou *meule*². Ainsi à la fosse n° 9 de Lens, l'eau très abondante d'abord diminue brusquement au-dessous du banc dur de 28 mètres ; à la fosse n° 2 de Courrières, on a mis une trousse au niveau du banc dur à 24 mètres et on n'a presque plus d'eau en dessous ; au n° 8 de Courrières il suffit du passage de la craie fendillée qui règne jusqu'à 10 mètres à une craie plus compacte pour ramener la venue d'eau de 1680 mètres cubes à l'heure à 345.

Inversement l'eau trouve des lieux d'élection et de facile passage dans certaines couches où la craie paraît avoir été remaniée et prend un aspect de conglomérat : c'est ce que Gosselet appelle la *craie congloméroïde*, et il pense que cette structure est le résultat du passage d'eaux anciennement beaucoup plus abondantes qu'aujourd'hui. L'exemple des fosses 1 et 10 de Lens et 9 de Courrières montre combien cette craie est plus riche en eau que les autres bancs : elle est là nettement séparée de la craie fendillée supérieure. L'eau se trouverait ainsi distribuée dans la craie sénonienne en gîtes situés à différentes hauteurs et déterminés par la situation des bancs congloméroïdes : ces gîtes communiquent entre eux, mais assez difficilement, par les cassures verticales. Il n'y aurait plus ainsi à proprement parler de nappes super-

1. J. GOSSELET. Les nappes aquifères de la craie au Sud de Lille. *Annales de la Société géologique du Nord*, séance du 1^{er} juin 1904.

2. Les puits de Lille et environs descendent généralement entre deux bancs de *tun*, séparés par une couche sableuse aquifère. Dans les fosses de Lens et Courrières, il n'y a plus qu'un banc de *meule*.

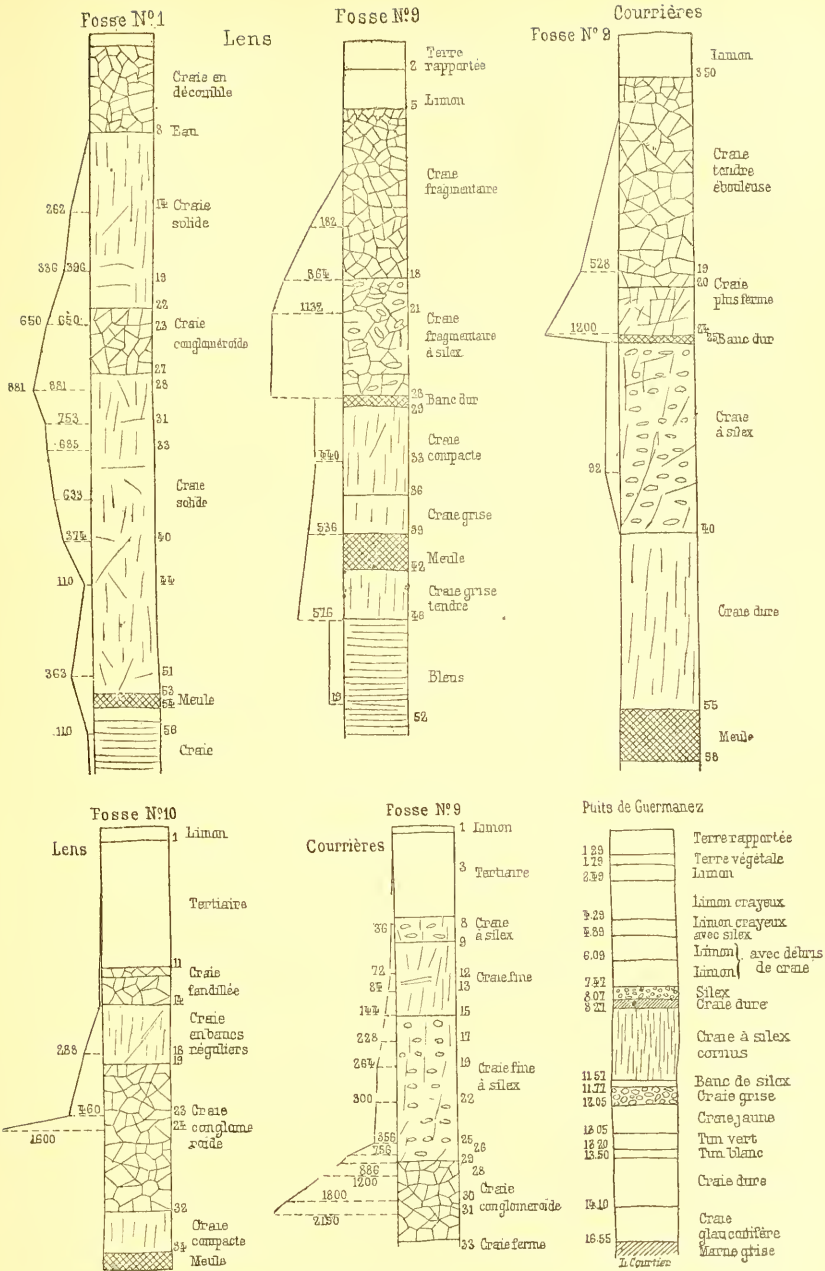


FIG. 16. — Études de Gosselet sur les venues d'eau dans la craie aux environs de Lille.

21 juillet 1910.

Bull. Soc. géol. Fr. X. — 14.

posées, ni d'artésianisme, mais seulement des niveaux piézométriques variables dépendant pour chaque gîte aquifère des cassures avec lesquelles il est en relation.

D'un autre côté, M. Gosselet a remarqué que la craie congloméroïde n'existe pas sous les plateaux et qu'on la trouve surtout dans les vallées et vallons ; il en est du reste de même pour la craie fendillée riche en eau. On est ainsi conduit à placer les ouvrages de captage dans les dépressions de la surface (vallées), ces dépressions traduisant sans doute ce qui s'est passé dans la profondeur (affaissements ?). C'est ainsi qu'il explique qu'un forage d'essai fait à Carnin (sur un plateau) par la ville de Lille n'a donné que peu d'eau tandis que le puits de Guermanez situé à 300 mètres au Sud de l'usine d'Emmerin a donné plus de 5000 mètres cubes par jour.

f) *Crétacé dans le Sud de la France.* — Au Sud de la région jurassique des Charentes, s'étend une vaste région crétacée, entre Charente et Dordogne. C'est le Cénomancien qui y domine : il comprend d'abord une assise de grès et sables glauconieux aquifères (deuxième partie de la galerie de Rochefort), puis des calcaires fissurés (calcaires à sphérulites) également aquifères (première partie de la galerie de Rochefort). La craie glauconieuse (à *Micraster*), épaisse de 60 mètres, et la craie à *Ostrea vesicularis* (55 mètres) ont aussi de l'eau à leur base. Les sources du Cluzeau et de l'Abîme qui alimentent Périgueux sont d'un de ces niveaux, mais doivent leur naissance à une faille.

En dehors de l'étroite bande jurassique et crétacée qui flanque le versant nord des Pyrénées (une bande symétrique occupe le versant espagnol), il ne reste plus guère à examiner que le grand massif crétacé du Sud-Est, lequel va du revers ouest des Alpes au Rhône et déborde même dans l'Ardèche, le Gard et l'Hérault. Ici encore c'est le Crétacé inférieur qui domine : il devient calcaire (Urgonien) et donne naissance à de grandes nappes et à de grosses sources, dont les fontaines de Vaucluse, de Nîmes, du Lez, de Sassenage (Grenoble), des Gillardes, dans le Dévoluy¹, du Brudoux dans le Vercors² sont des types classiques. Il faut y ajouter les sources d'Eure, de Tavel, de Gourdagne, de Bourg-

1. Le massif du Dévoluy (Hautes-Alpes) est formé par le Crétacé supérieur (Sénonien) et le Crétacé inférieur (Néocomien) reposant en stratification discordante sur le Corallien et l'Oxfordien. Les eaux qui tombent sur la grande surface d'absorption située au pied du Puy Ferrand, laquelle est criblée d'orifices appelés *chouruns*, ressortent à la source double des Gillardes, dans la cluse de la Baume, au Nord du massif : les couches plongent fortement vers le Nord.

2. Le Vercors (entre le Drac, l'Isère et la Drôme) est au contraire formé exclusivement par le Néocomien : il est aussi criblé de trous appelés *pots* ou *scialets*. La source du Brudoux vient des infiltrations du plateau de Fondurle.

Saint-Andéol, du Groseau au pied du Ventoux, etc. Les sables, grès et calcaires glauconieux de l'Albien sont aussi perméables dans le Gard et donnent naissance à de nombreuses sources (Campagnac, Blanzac, Salzac, etc).

Voici d'après mes études avec M. Torcapel les quatre niveaux d'eau du Néocomien et de l'Urgonien aux environs de Nîmes.

Urgonien	Aptien	Marnes aptiennes (imperméables)
	Donzérien ép ^r 500 ^m	1 ^{er} Niveau d'eau Calcaires rocheux Couches marneuses coralligènes à <i>Chama antonia</i> .
	Barutélien ép ^r 320 ^m	2 ^{me} Niveau d'eau Marnes et calcaires marneux à <i>Ammonites difficilis</i> (imp)
	Cruasien ép ^r 150 ^m	3 ^{me} Niveau d'eau Calcaires rocheux à <i>Ammonites cruasensis</i>
Néocomien	Hauterivien ép ^r 400 ^m	4 ^{me} Niveau d'eau Calcaire marneux à <i>Crioceras Duvah</i> (imp.) Calcaires rocheux à <i>Ammonites radiatus</i> Marnes et calcaires marneux à <i>Am. cryptoceras</i> (imp)
	Valanginien ép ^r 100 ^m	Marnes à <i>Belemnites latas</i> (imp)

Le Crétacé supérieur de la Provence contient également plusieurs niveaux d'eau. Les grès ferrugineux et calcaires marno-gréseux sont un peu perméables et donnent de nombreuses sources, mais petites. Les calcaires à *Hippurites*, grès et calcaires gréseux du Turonien et du Sénonien, renferment plusieurs nappes sur les couches argileuses intercalées, notamment une nappe importante sur les sables et argiles réfractaires à *Ostrea columba* (sources de Saint-Victor, des Oules, de Sabran, de Bagnols, etc.) — ; enfin, les calcaires et marnes de Rognac, de Fuveau et de Piolenc (Danien) forment un ensemble perméable (les couches lignitifères du bassin de Fuveau, dans la vallée de l'Arc, entre Aix et Marseille, contiennent des eaux abondantes qui gênent beaucoup l'exploitation des mines.)

Il faut ici donner quelques détails sur les fontaines de Vaucluse, de Nîmes, du Lez.

Fontaine de Vaucluse. La célèbre fontaine a été étudiée par MM. Bouvier, Lefèbvre, Dyrion¹ et Pochet².

La Fontaine est l'exutoire d'un vaste bassin de calcaire urgo-

1. DYRION. *Bull. Hydraulique agricole*, 1894.

2. POCHET. *Bull. Hydraulique agricole*, 1901.

nien de 70 km. de longueur, qui s'étend jusqu'à Sisteron, et aurait 1450 km. carrés. La figure 17 en montre la coupe géologique.

Les eaux traversent facilement les calcaires, fissurés et perforés (*avens*), et sont arrêtées par les marnes hauteriviennes du Néocomien : elles cheminent ainsi vers l'Ouest, de bassins en bassins souterrains, réunis par des déversoirs ou des siphons, jusqu'à ce que par le conduit remontant d'un dernier siphon elles butent contre les marnes lacustres et reparaissent au jour au pied d'un banc rocheux de 200 mètres de hauteur. La Fontaine de Vaucluse est en somme une *exsurgence* fermée, ascendante,

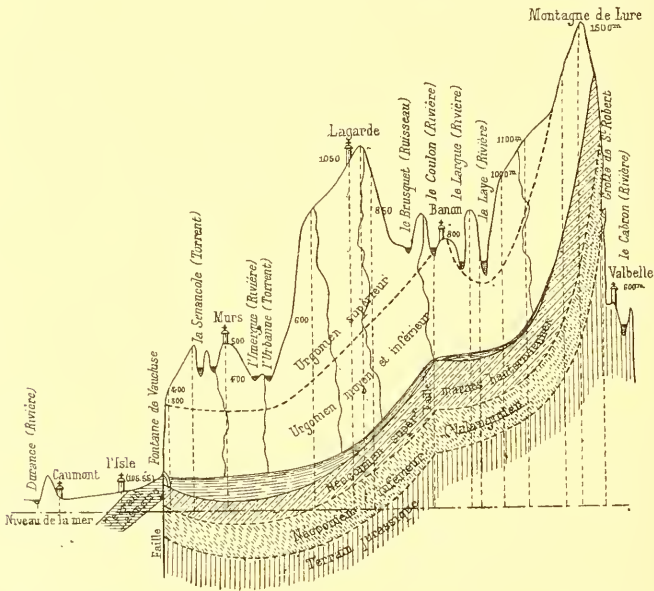


FIG. 17. — Coupe en long (de Sisteron à Avignon) du BASSIN DE LA FONTAINE DE VAUCLUSE (d'après Dyrion).

unique, calme, et de recoupement topographique au bout d'une vallée et au pied d'une falaise (M. Martel).

Le débit varie de 4 à 150 mètres cubes par seconde. Il y aurait grand intérêt à pouvoir le régulariser; mais il serait dangereux pour cela de chercher à réduire l'orifice en crue, parce que sous les pressions intérieures l'eau pourrait se créer d'autres sorties. M. Dyrion a proposé de créer une galerie allant capter l'eau à 4 mètres en dessous du niveau le plus bas d'émission : on utiliserait ainsi une tranche qui reste à présent en réserve dans le sol.

Fontaine de Nîmes. Ici c'est encore une faille qui fait buter les eaux du calcaire de Cruas (Urgonien) contre les marnes subapennines relevées brusquement et les force à venir au jour (fig. 18). Les débits ne paraissent pas bien connus. La ville de Nîmes utilise une partie des eaux, mais elles sont sujettes à être contaminées, et le nombre des bactéries y est parfois supérieur à 1000 par centimètre cube (après les pluies notamment).

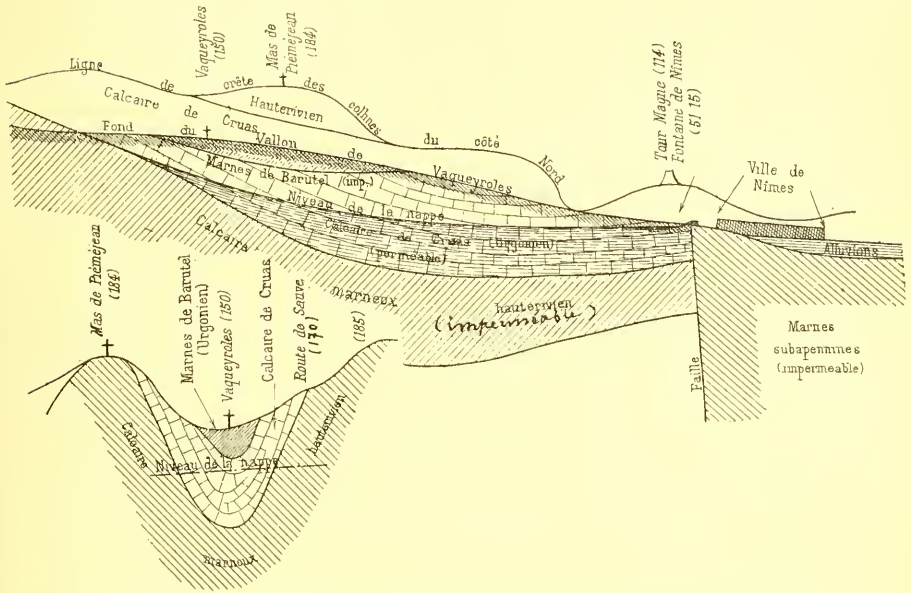


FIG. 18. — La FONTAINE DE NÎMES et sa production par une faille.
Copes longitudinale et transversale.

Source du Lez. — L'étude géologique du bassin d'origine de la source du Lez qui alimente Montpellier a été faite par MM. Delage et Mourgues.

« Le Lez sort d'une formation essentiellement constituée par une alternance de calcaires et de marnes. Cette formation représente le Néocomien inférieur, c'est-à-dire l'étage berriasien. Elle s'étale sur une grande surface et elle a subi des mouvements violents qui l'ont fortement plissée et disloquée. Elle absorbe, à très peu près, la totalité des eaux pluviales qui tombent directement à sa surface. Ces eaux s'y accumulent à de certaines profondeurs et y sont retenues par les assises marneuses plus ou moins imperméables, ainsi que l'attestent les puits qu'on a creusés un peu partout dans la région.

« Il y a lieu de remarquer qu'en dehors du Lez, aucun ruisseau important ne sert d'écoulement aux eaux en question. Celles-ci sont-elles l'unique source d'alimentation du Lez ? C'est possible, étant données et l'étendue de l'affleurement berriasien et la quantité d'eau moyenne enregistrée annuellement par le pluviomètre.

« Cependant, au premier abord, on ne peut se défendre de supposer qu'une partie des eaux du Lez lui vient de bien plus loin en amont de sa source et en dehors du réservoir berriasien. Cette supposition, d'ailleurs toute gratuite jusqu'à présent, est surtout provoquée par ce fait que le Lez, au contraire de la plupart des autres cours d'eau, est déjà à sa source une rivière toute faite, c'est-à-dire que son débit y est considérable.

« Outre les eaux de pluie, la formation berriasienne reçoit encore une masse d'eau importante, c'est celle du ruisseau le Lirou, dont la source est aux Matelles à quelques kilomètres en amont de celle du Lez. Le Lirou sort du Jurassique supérieur ou étage tithonique. Dès sa sortie, il se déverse entièrement dans les couches berriasiennes, où il coule ensuite souterrainement et superficiellement jusqu'à son embouchure dans le Lez.

« Si donc l'apport de la pluie, d'une part, et l'apport du Lirou, de l'autre, ne fournissent pas toute son eau au Lez, il semble certain qu'ils contribuent pour une bonne part à son alimentation ; et, lorsqu'on se place au point de vue de la contamination de ce ruisseau, il devient évident que les foyers d'infection peuvent être et sont en réalité si multiples qu'il est impossible d'arriver à les faire disparaître ».

Le débit de la source du Lez qui paraît varier de 600 à 40.000 litres par seconde n'a pu être mesuré exactement d'une façon suivie à cause des difficultés qu'auraient présentées de telles mesures. On s'est contenté de noter régulièrement le niveau de l'eau dans le bassin, sur une échelle dont le zéro se trouve à 80 centimètres environ au-dessous du couronnement du barrage : ce niveau est évidemment en rapport avec le débit de la source.

IV. — TERRAINS TERTIAIRES.

Les terrains tertiaires, alternances de couches relativement minces de sable, d'argile et de calcaire, sont beaucoup plus variables de composition d'un lieu à un autre que les terrains plus anciens. Il est donc difficile d'en donner une description d'ensemble, mais il sera bon de rappeler que les sables étant géné-

ralement désagrégés, sont toujours très perméables, et que les calcaires étant en bancs peu épais laissent d'ordinaire passer l'eau comme au travers d'un crible et filtrent généralement mal : l'importance des nappes dépend surtout, bien entendu, de l'étendue des affleurements du terrain perméable.

Bassin de Paris. — La grande étendue de terrains tertiaires qui règnent dans ce bassin a été bien étudiée; l'hydrogéologie en est figurée schématiquement dans le tableau ci-dessous, qui indique également les divers niveaux d'eau qu'on rencontre sous Paris¹ (fig. 19).

Comme on le sait, en raison de l'étendue de leurs affleurements et de leur épaisseur relativement grande aux environs de Paris, les sables du Soissonnais sur l'argile plastique d'une part², les sables de Fontainebleau sur la marne à Huîtres de la base ou plus souvent sur les glaises vertes d'autre part³, donnent naissance à deux grandes nappes aquifères, dont l'eau, filtrée par les sables, doit être de tous points excellente. On pourrait certainement, en choisissant des points conve-

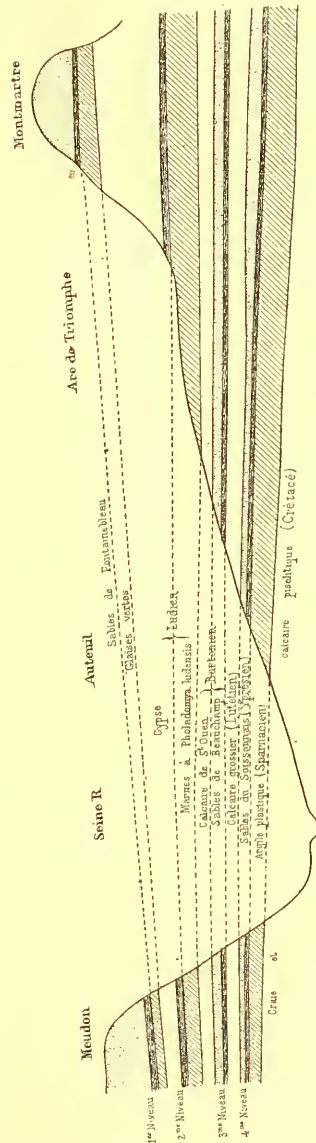


Fig. 19. — Diagramme des couches tertiaires et des nappes aquifères sous Paris.

1. ÉMILE GÉRARDS : Paris souterrain.

2. On peut citer comme caractéristique de ce niveau la belle ligne de sources de la vallée de l'Oise près Pont-Sainte-Maxence (fig. 20).

3. MM. Ramond et Dollot ont bien étudié l'effet des eaux de cette nappe du Stampien sur l'éboulement du tunnel de Meudon pendant sa construction : l'éboulement s'est produit quand on s'est trop approché de la base des sables de Fontainebleau très aquifères (fig. 21 et 22).

belles captations souterraines : c'est ce qu'avait songé à faire la ville de Compiègne¹.

La surface de la Brie, occupée par les meulières et marnes (Travertin moyen), est généralement imperméable et présente de nombreuses mares. Il en est de même de la grande forêt d'Orléans (argile à silex du Burdigalien). Ces régions sont donc l'opposé de la grande forêt de Fontainebleau qui ne contient pas d'eau à la surface, le sol laissant tout pénétrer dans la profondeur.

La grande lentille de gypse qui aux environs de Paris va de Meulan à Château-Thierry, donne de nombreuses sources à son pourtour, mais les eaux sont généralement très dures : sources

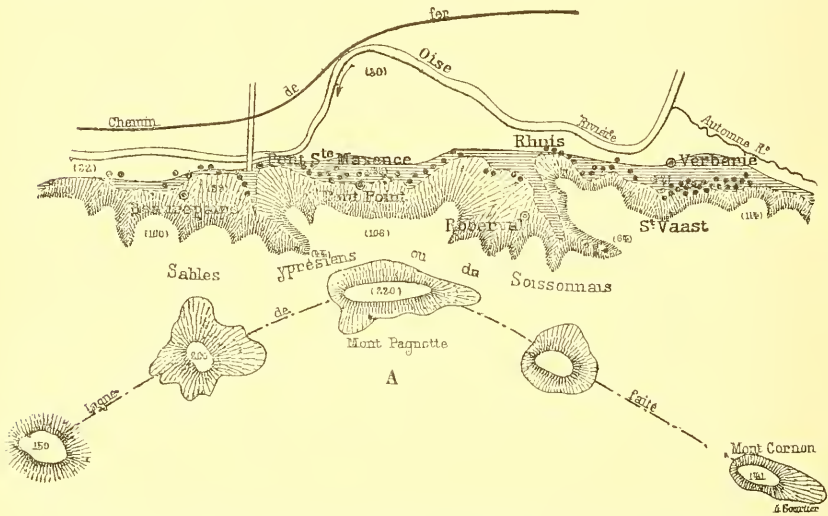


FIG. 20. — Ligne de sources des sables yprésiens sur l'argile plastique près Pont-Sainte-Maxence.

de la vallée de l'Yvette (30° à 44°), sources de Rungis et d'Arcueil (38°), sources du Val Fleury à Meudon, sources de Saint-Cloud, Garches et Montretout (30° à 60°), sources de la côte de Marly (48°), fontaine à Tonquin dans la vallée d'Yères (30°), etc.

Les calcaires tertiaires ne sont pas moins caverneux et fissurés que les calcaires jurassiques : je vais en donner trois remarquables exemples.

1. Les *Sables moyens*, du niveau de Beauchamp, contiennent souvent aussi une belle et bonne nappe : M. Maurice Morin la déclare constante et parfois artésienne sous le plateau d'Aulnay (Seine-et-Marne), tandis que les niveaux au-dessus des marnes à Pholadomyes et au-dessus des glaises vertes sont les moins réguliers et les moins abondants. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (4), VIII, 1908.

TABLEAU DES TERRAINS TERTIAIRES ET DE LEURS NAPPES AQUIFERES DANS LE BASSIN DE PARIS (NAPPES SOUS PARIS)

TERRAINS		Étages		Assises		Notation de la carte géologique		Perméabilité		Épaisseur moyenne		NIVEAUX D'EAU	
MIOCÈNE PLOCEÈNE	TERRAINS	Sicilien.....	Sables de Saint-Prest.....			p^1	perm.	2 à 10	Peu développé dans le bassin de Paris ; ne fait que couronner quelques coteaux.				
		Astien.....	Sables à Nassa du Cotentin.....			"	perm.	5 à 6					
		Plaisancien.....	Faluns de la Dixmerie.....			p_1	perm.	5 à 20					
		Tortonien.....	Faluns de l'Anjou.....			"	perm.	5					
		Helvétien.....	Faluns de la Touraine.....			m^3	perm.	20					
		Burdigalien.....	Sables et argiles de la Sologne.....			m^2	perm.	10 à 40		Petite nappe sur un lit de marne.			
			Marnes de l'Orléanais.....			m_1	imp.	2 à 10		Nappe dans les sables de la Sologne sur la couche de marne.			
		OLIGOCÈNE	TONGRÈNES	Burdigalien.....	Sables de l'Orléanais.....			m_1		perm.	10 à 20	Manque parfois.	
				Aquitanien (calcaire de Beauce).....	Calcaire à hélices de l'Orléanais.....			m^1		perm.	20	Petite nappe dans les calcaires supérieurs.	
				Stampinien.....	Mollasse du Gâtinais.....			m_{11}		imp.	5 à 15		
Calcaire à Limnées, meulères de Montmorency.....							perm.	20 à 30	L'eau traverse cette assise ; vallées sèches.				
Sannoisien.....	Sables de Fontainebleau.....					e^3	perm.	40 à 60	Grande nappe, soit sur les marnes à Huîtres, soit sur les glaises vertes (1 ^{er} niv. sous Paris).				
	Ludien.....			Marnes à Huîtres (manque parfois).....			e^4	imp.	2 à 10	Très peu épais près de Paris ; petit niveau d'eau sur e^4 (manque parfois).			
Bartoniens (Wemmélien).....				Calcaire lacustre (Travertin moyen) de la Brie.....			e^5	variab.	1 à 5				
	Parisien			Glaises vertes.....			e^3	imp.	4 à 5				
ÉOCÈNE				STRESSONIEN	Gypse travertin de Champigny.....			e^2	perm.	10 à 20	Nappe dans le gypse (2 ^e niveau sous Paris).		
	Marnes à <i>Pholadomya ludensis</i>						e^2	imp.	5 à 35	Niveau à la base et petits niveaux irréguliers.			
Lutétien.....	Calcaire lacustre (travertin) de St-Ouen.....			e^1	perm.	10 à 20	L'eau traverse cette assise ; vallées sèches, avec quelques sources aux abouchements des cassures.						
	Yprésien.....	Sables de Beauchamp (Valoisien).....			e_{11}	perm.	15 à 45	Nappe dans les sables de Beauchamp (3 ^e niveau sous Paris).					
Thanétien.....		Calcaire grossier et caillasses.....			e_{12}	imp.	12 à 15	Nappe à la base du calcaire sur une couche d'argile brune située au sommet de e_{11} .					
	Landémien.....	Sables nummulitiques ou sables du Soissonnais.....			e_{13}	perm.	8 à 10	Nappe importante (3 ^{re} série) sur l'argile plastique (4 ^e niveau sous Paris).					
Landémien.....		Argile plastique.....			e_{14}	imp.	35 à 50						
	Landémien.....	Sables de Rilly.....			e_{15}	perm.	10 à 50	Nappe importante à la base de l'étage sur une couche d'argile (argile de Louvil).					
Landémien.....		Sables de Bracheux.....			e_{16}	perm.	12						
	Landémien.....	Sables et grès de Jonchery.....			e_{17}	perm.	10 à 12						

PREMIER EXEMPLE. — Région des sources de la Dhuis (alimentant Paris). — D'après M. Le Couppey de la Forest.

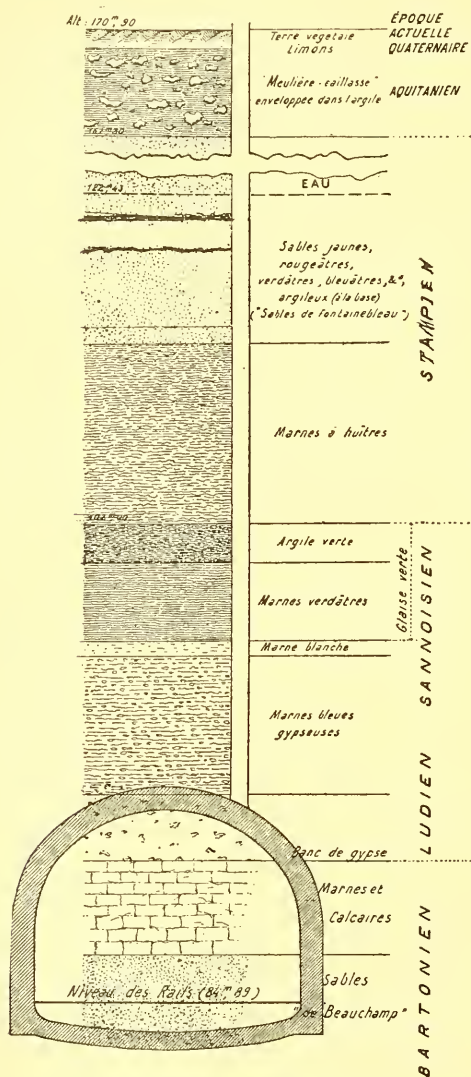


Fig. 21. — Coupe verticale des terrains traversés par le TUNNEL DE MEUDON.

Les sources de la Dhuis sont les plus anciennes des sources captées à grande distance de Paris. Achetées en 1859, elles virent leurs eaux introduites dans l'aqueduc le 2 août 1865, et la distribution régulière dans Paris en commença le 1^{er} octobre de la même année. Situées à plus de 130 kilomètres de Paris, à l'altitude de 128 mètres, elles alimentaient à elles seules, avant leur captation, le ruisseau de la Dhuis, petit affluent du Surmelin, qui lui-même se jette dans la Marne, rive gauche, entre Château-Thierry et Dormans, un peu en amont de la station de Mézy du chemin de fer de l'Est. Elles produisent environ 20000 mètres cubes par jour.

D'après les indications de la Carte géologique (feuille de Meaux), complétées par celles qu'avait bien voulu nous fournir Léon Janet, le périmètre d'alimentation de la Dhuis devait être sensiblement compris au Nord et au Sud, entre deux lignes est-ouest, constituées l'une par le synclinal secondaire de la source de la Dhuis et l'autre par l'anticlinal

secondaire du Bois-du-Tartre. En outre, il devait être limité par des lignes souterraines de partage d'eau qui restaient à définir, mais

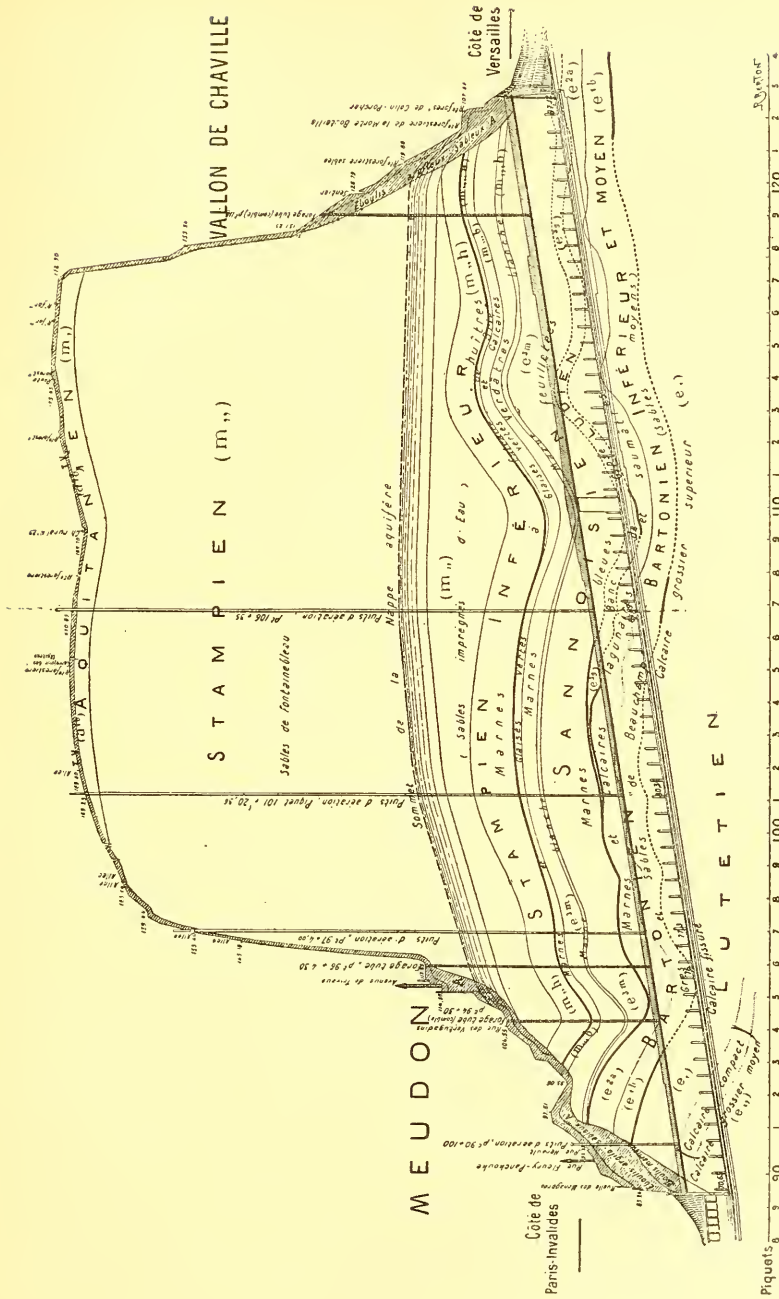


FIG. 22. — Coupe longitudinale du TUNNEL DE MEUDON par MM. Ramond et Dollo (hauteurs vingtplées).

dont les positions extrêmes étaient, à l'Est, la vallée de Verdon et, à l'Ouest, la vallée du ru de Chézy.

Cette région ainsi délimitée mesure environ 92 kilomètres carrés. Recouverte en partie par de nombreux bois (forêt de Rougefosses, bois de Pargny, bois Milon), elle est assez peu peuplée.

Le sol y est constitué par du limon des plateaux, des calcaires et meulière de Brie (Tongrien), des argiles vertes (Tongrien), des marnes et calcaires supragypseux (Ludien), du calcaire de Champigny (Ludien) et des marnes à *Pholadomya ludensis* (Ludien).

1° *Limon des plateaux*. — Le limon des plateaux est relativement perméable. Il peut atteindre 5 à 6 mètres d'épaisseur et couronne les hauteurs entre les cotes 180 et 210.

2° *Calcaires et meulière de Brie*. — Cette assise n'a que 4 à 5 mètres d'épaisseur maxima. Quelquefois elle est détruite en partie et se réduit à 1 mètre. Elle se présente presque partout sous l'aspect d'une argile gris rougeâtre très imperméable empâtant des blocs de meulière.

3° *Argiles vertes*. — Les argiles vertes constituent une couche de 2 mètres d'épaisseur entourant d'une façon presque continue l'affleurement des calcaires de Brie. En certains points, cependant, elles ont été enlevées par la dénudation. Encore plus imperméables que les terrains précédents elles déterminent un niveau d'eau peu important. Les rares hameaux qui ont été construits sur le limon des plateaux sont tous alimentés en eau par des puits descendant jusqu'à ce niveau.

La profondeur totale des puits rencontrés montre l'épaisseur des deux terrains, limon des plateaux et calcaire de Brie, qu'on a eu à traverser avant d'arriver à la nappe. Quelques-uns de ces puits sont un peu plus profonds. Ils ont été ainsi creusés plus loin afin de servir, en quelque sorte, de citernes ; car, la nappe des argiles vertes venant à tarir en été, il importe de constituer des réserves d'eau. On a alors creusé certains puits jusqu'à l'extrême limite des argiles vertes, c'est-à-dire presque jusqu'au contact avec les terrains plus perméables sous-jacents. Tous ces puits contiennent une eau provenant des égouts des terres et des cours des fermes avoisinantes : ils présentent les plus mauvaises garanties hygiéniques.

On rencontre, en outre, quelques rares sources s'alimentant à cette même nappe. Nous citerons la source de la Sauvagerie et les deux sources dites les Queues. Ces sources tarissent du reste dès les moindres sécheresses et leurs eaux se perdent dans le sol presque immédiatement après leur émergence, dès qu'elles arrivent sur les couches supérieures du Ludien. Aussi toutes les vallées de la région, dont les argiles vertes forment le haut, sont-elles en temps ordinaire complètement sèches.

4° *Marnes et calcaires supragypseux*. — Ces terrains ont une assez grande étendue et ont une puissance moyenne de 7 à 8 mètres. Peu marneux dans leur partie supérieure et composés surtout d'alternances de lits de marnes blanches grumeleuses et de petits bancs de calcaire blanc, ils sont perméables en bien des points et se laissent traverser

par les eaux si ces dernières ruissellent lentement. Aussi toutes les vallées qui sont tracées sur cette formation sont-elles dépourvues de cours d'eau en temps ordinaire. Mais dès qu'il arrive de grandes chutes pluviales, le terrain se sature et les eaux ravinent le sol, donnant naissance à des ruisseaux au cours rapide. Les eaux, en dehors de ces époques exceptionnelles, s'infiltrent en terre mais n'y pénètrent pas profondément : elles sont retenues à une faible distance par des lits marneux plus compacts.

Tous les puits forés, soit dans l'argile verte, soit dans le haut du gypse, s'alimentent à une nappe retenue par ces marnes blanches. Ces différents puits n'ont pas un régime beaucoup meilleur que ceux que nous avons vus s'alimenter aux argiles vertes. S'ils ne tarissent pas tous en été comme ces derniers, ils baissent souvent beaucoup.

On observe également quelques sources sur ces terrains; nous signalerons : fontaine de Corrobert, source des Champs-Martin, fontaine Launay, fontaine de Montfrobert, source de la Charmoise, source du château la Marlière.

5° *Travertin ou calcaire de Champigny*. — Cette assise constitue la plus grande partie du sous-sol de la région considérée. Puissante de 20 à 25 mètres, elle se présente tantôt sous la forme d'un calcaire blanc avec nodules de silex exploité pour la fabrication de la chaux, tantôt sous la forme d'un calcaire siliceux très dur aux géodes de calcédoine, fournissant des matériaux d'empierrement. Sa partie supérieure a subi souvent une meulièrement analogue à celle que l'on observe pour l'étage de Brie.

Ce travertin, très perméable, est sillonné de fissures. Les eaux souterraines y circulent avec une grande facilité et y déterminent la formation de vides ou de cavernes atteignant des capacités de plusieurs mètres cubes. Lors de l'exécution des travaux du chemin de fer de Mézy à Montmirail ou lors des sondages géologiques effectués aux environs de la source de la Dhuis, on a eu l'occasion de mettre à jour certains de ces vides. Quelquefois ces cavités, par suite de la rupture de leurs parois, donnent naissance à des effondrements.

Deux cas peuvent alors se produire. Si c'est le calcaire de Champigny ou même des assises supragypseuses plus calcaires que marneuses qui affleurent au-dessus des points où les effondrements se produisent, ces derniers se propagent jusqu'à la surface du sol et on est en présence de bétoires ou de mardelles pouvant absorber les eaux superficielles. Si au contraire, les formations précédentes sont recouvertes par des marnes blanches ou des argiles vertes, ces terrains étant très plastiques plient sans se désagréger. L'effondrement ne se manifeste plus que par un affaissement qui ne met pas en communication les eaux superficielles avec les eaux souterraines.

Une exploration très minutieuse de la région considérée a révélé à M. Le Couppey de la Forest l'existence de 18 bétoires ou effondrements et des expériences à la fluorescéine lui ont montré qu'un certain nombre d'entre eux communiquaient avec les sources captées : cepen-

dant les eaux de la Dhuis paraissent moins facilement contaminables que celles de l'Avre et de la Vanne.

DEUXIÈME EXEMPLE. — *Étude d'une rivière asséchée dans le calcaire de Beauce.* — Il s'agit de la rivière l'OEuf, près de Pithiviers, dont le débit est allé en diminuant jusqu'à laisser de nombreux moulins à sec vers 1875. La question a été étudiée soigneusement par M. Debauxe.

Son bassin appartient à deux formations géologiques très différentes, la partie supérieure aux argiles du Gâtinais et la partie inférieure au calcaire lacustre de Beauce. Le plateau ondulé qui s'étend de Nemours à Chartres est formé par les sables de Fontainebleau et le calcaire de Beauce, terrain éminemment perméable, aussi n'est-il arrosé que par huit rivières; la principale est l'Essonne, dont l'OEuf est l'affluent. Au contraire, le Gâtinais est, comme le montre la carte, sillonné d'une multitude de cours d'eau qu'il est inutile d'énumérer; ce pays tire son nom des gâtines, ou mares, dont il était autrefois recouvert et qui ont en partie disparu, par suite des drainages et des travaux effectués pour l'écoulement des eaux superficielles.

La séparation entre les argiles du Gâtinais et le calcaire de Beauce est indiquée par une ligne qui passe entre la forêt d'Orléans et Pithiviers, c'est-à-dire entre cette ville et l'origine de la rivière de l'OEuf. Ce cours d'eau a donc deux modes d'alimentation; dans la partie haute, terrain imperméable, il est uniquement alimenté par l'écoulement superficiel; dans la partie inférieure, terrain éminemment perméable, il ne faut compter que sur le produit des sources.

L'origine de la rivière se trouve non pas dans des sources, la nature du sol s'oppose à leur existence, mais dans une série d'étangs qui reçoivent l'égout du versant nord-est de la forêt d'Orléans; ces étangs sont munis de bondes de vidange qu'on ne lève que pendant l'hiver et qui emmagasinent pour l'été une certaine quantité d'eau. La suppression de ces réservoirs n'améliorerait pas le régime du cours inférieur de la rivière et n'aurait pour effet que de priver d'eau pendant l'été les parties hautes du bassin.

A mi-chemin environ entre la forêt d'Orléans et Pithiviers, le lit ou plutôt le fossé qui sert de lit à la rivière passe du terrain sablo-argileux au calcaire de Beauce. Pendant l'hiver, quand les eaux atteignent ce point de séparation, elles sont absorbées comme si elles passaient dans un crible; pendant l'hiver de 1875, la rivière présentait un assez fort débit tant qu'elle restait sur le terrain imperméable, mais, dès qu'elle atteignait le calcaire, elle s'évanouissait, et après quelques centaines de mètres de parcours, il ne restait pas une goutte d'eau. Il faut une humidité prolongée pour que les eaux, coulant en abondance dans la partie supérieure du bassin, arrivent jusqu'à Pithiviers.

Après 3 ou 4 kilomètres de parcours sur le calcaire de Beauce, la vallée s'accuse davantage et la tourbe apparaît: elle repose sur le tuf calcaire, et son épaisseur atteint jusqu'à 8 mètres. La présence de la

tourbe indique bien la nature du cours d'eau : il est à très faible pente et n'est alimenté que par les eaux souterraines ; il n'y arrive pour ainsi dire pas d'eaux superficielles, car la tourbe ne se développe pas dans les eaux troubles. En effet, les plateaux de la Beauce ne conservent jamais d'eaux superficielles ; on ne voit nulle part une flaque d'eau dans les champs, qui s'assainissent en quelques heures à la suite des plus grandes pluies. Les vallées secondaires elles-mêmes ne portent trace d'aucun ruisseau ; mais, à leur point de rencontre avec la vallée principale, on trouve en général une source assez importante. Les autres sources sont réparties le long du thalweg de la vallée principale ; elles sont nombreuses à cause de la nature éminemment perméable du sol.

A l'amont de Pithiviers, les sources, jadis pérennes, ont disparu ; on les retrouve à leur ancien emplacement, mais au moins à 1 mètre au-dessous de leur orifice primitif. Il y a donc eu abaissement progressif de la nappe d'eau qui les alimente. Ces sources n'existaient, bien entendu, que sur la formation calcaire ; dans la partie supérieure du bassin, notamment dans la forêt d'Orléans, on trouve des sources nombreuses, mais elles sont insignifiantes et dispersées : on les rencontre aussi bien dans le voisinage des faîtes que dans les dépressions. Vu la nature générale du sol, elles tiennent en effet à des causes locales et accidentelles : il existe çà et là des veines de sable plus ou moins pur qui drainent la surface argileuse et qui abandonnent le produit de ce drainage, lorsqu'on les coupe ou lorsqu'elles apparaissent au jour. Ce n'est pas sur ces faibles suintements qu'il faut compter pour l'alimentation d'une rivière ; ils sont incapables de produire le moindre ruisseau.

Si la rivière de l'OEuf est asséchée, cela tient uniquement à l'abaissement du niveau de la nappe souterraine qui alimentait les sources ; cette nappe se déverse maintenant à une altitude moindre qu'autrefois, et le niveau des sources pérennes s'est abaissé en même temps qu'elle.

TROISIÈME EXEMPLE. — a) *Eaux du val d'Orléans et sources du Loiret*. — Les sources du Loiret ont de tout temps attiré l'attention. Les deux bien connues sont les sources bouillonnantes dites du Bouillon et de l'Abîme qui ne débitent jamais moins ensemble de 500 litres par seconde. Avant 1672, l'Abîme existait seul ; mais le cours souterrain a crevé la voûte de son lit en un autre point, et il en est résulté le Bouillon ou la source du Loiret, bien connue des touristes, et remarquable par son bouillonnement très accusé en eaux basses.

Pendant les gelées de décembre 1871, M. Sainjon a étudié une autre source bouillonnante, qui a disparu à la première crue, et qui s'était ouverte à Orléans même sur la rive gauche de la Loire. Le gouffre avait 12 mètres de profondeur et on apercevait nettement au fond les roches calcaires, ainsi que des couches d'argile verte.

La ville de Paris a songé à capter et amener les eaux souterraines du Val d'Orléans, et une étude complète de ces eaux a été faite par

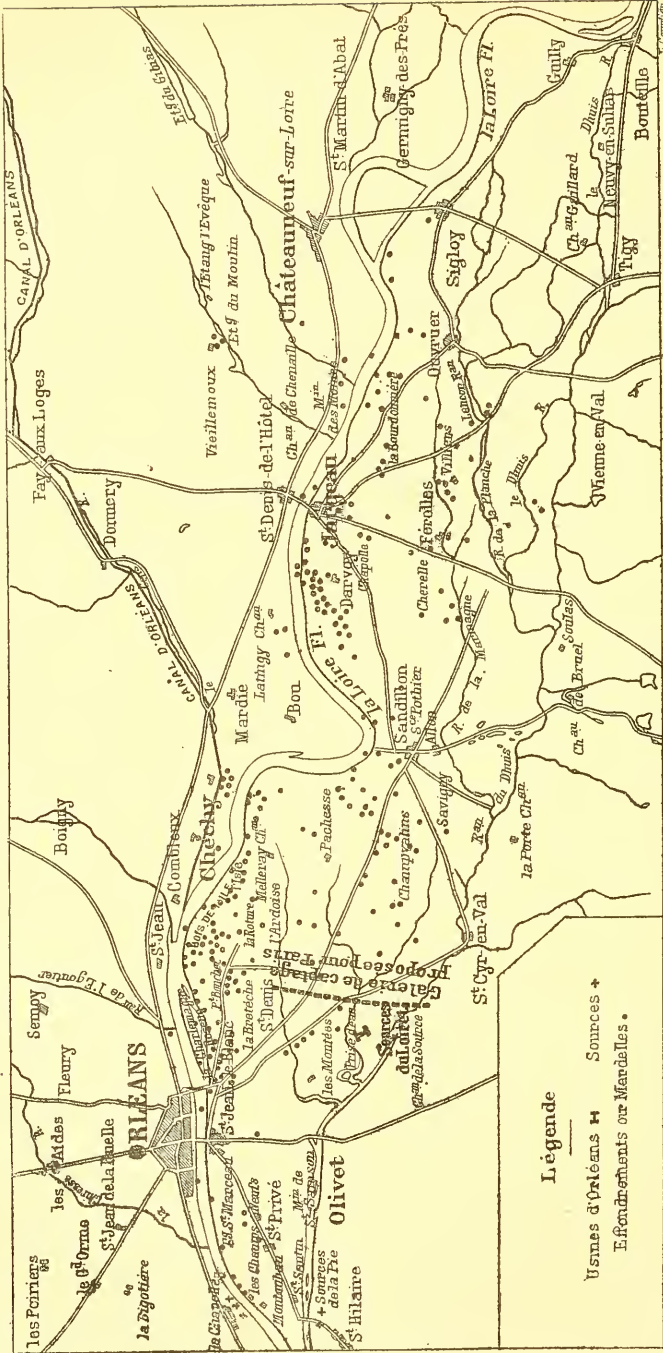


FIG. 23. — Carte hydrologique du VAL D'ORLÉANS.

M. Marboutin et Léon Janet et figure aux rapports de la Commission de Montsouris (1900-1902). Nous en donnerons un résumé emprunté en grande partie à celui que M. Jules Bergeron a donné dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils* (janvier 1904) (fig. 23 à 26) :

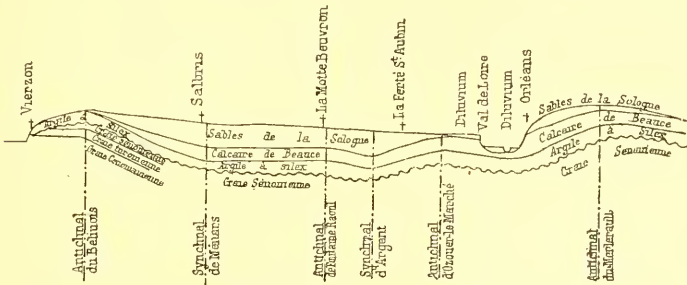


FIG. 24. — Coupe Nord-Sud, passant par ORLÉANS ET VIERZON.

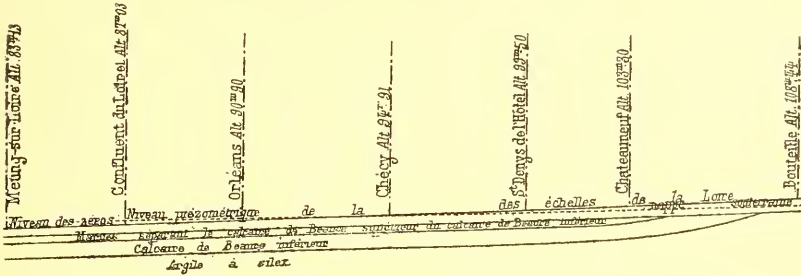


FIG. 25. — Coupe suivant le cours de LA LOIRE, de Bouteille à Meung.

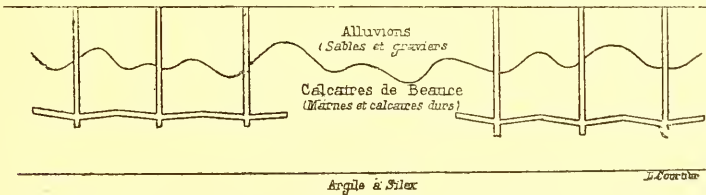


FIG. 26. — Coupe du terrain du VAL DE LOIRE ET DE LA GALERIE DE CAPTAGE PROPOSÉE POUR PARIS.

« Avant de parler des méthodes employées par M. Marboutin, je rappellerai que le projet primitif consistait à prendre dans le val d'Orléans un volume de 5 mètres cubes à la seconde. Mais s'il semblait possible d'y trouver un pareil volume, encore fallait-il connaître l'origine des eaux de cette région et en particulier de celles du Loiret.

En 1901, Léon Janet avait donné les caractères géologiques du val d'Orléans. Celui-ci correspond à un élargissement de la vallée de la Loire, à une dépression bordée au Nord par le plateau de la Beauce que recouvre la forêt d'Orléans, et au Sud par le plateau de la Sologne. Ces deux plateaux sont couverts de sables et d'argiles (étage des sables de la Sologne) qui retiennent, du moins ces dernières, les eaux de surface. Les eaux venant du Nord se jettent directement dans la Loire; celles venant du Sud alimentent des ruisseaux qui atteignent ce fleuve en aval du confluent du Loiret et un seul, le Dhuis, qui circule dans le val d'Orléans.

Les sables de la Sologne reposent directement, partout où nous aurons à les étudier, sur les calcaires de Beauce. Le fond du val d'Orléans est occupé par des dépôts récents qui recouvrent les mêmes calcaires.

Examinons maintenant les eaux du val d'Orléans. C'est d'abord le Loiret qui sort d'une source dite du Bouillon ou du Château; il est alimenté par d'autres sources qui bouillonnent dans son lit ou sur ses rives, et par quelques ruisseaux, sans importance, provenant soit du val, soit de la Sologne. Parmi les sources de la rive gauche, je signalerai comme les plus abondantes celles dites de la Pie qui sourdent dans une propriété de ce nom, près de Saint-Hilaire.

M. Sainjon, en 1882, donna pour la première fois une démonstration scientifique de l'hypothèse émise déjà bien antérieurement, que le Loiret n'était qu'une résurgence de la Loire. Il s'appuyait sur ce fait que le débit de la Loire commence à diminuer à partir du hameau de Bouteille; cette diminution se continue jusqu'à Orléans où le débit est minimum; mais au niveau de l'embouchure du Loiret, le débit de la Loire est redevenu le même qu'en amont de Bouteille par suite de l'apport des eaux du Loiret et de nombreuses rentrées d'eau observées en aval d'Orléans.

S'il en est ainsi, les eaux du Loiret ne sont autre chose que les eaux de la Loire et par suite elles sont polluées; mais d'autre part, avant d'arriver aux sources du Loiret, elles ont peut-être subi une épuration. Il faut donc savoir d'abord comment elles y parviennent: ce ne peut être qu'à travers des sables ou à travers des calcaires fissurés. On comprend l'intérêt de la question.

Il résulte des études géologiques faites dans la région que les seuls sables du val d'Orléans appartiennent aux alluvions et qu'ils sont incapables de laisser passer la quantité d'eau nécessaire au débit du Loiret. Au contraire, il y a dans la même région un très grand nombre d'effondrements, ou gouffres correspondant, dans des calcaires de Beauce sous-jacents aux alluvions, à de vastes canaux par lesquels l'eau peut circuler facilement. Le nombre de ces effondrements est très grand et tous les ans il s'en produit de nouveaux. L'eau de la Loire s'engouffre à partir de Bouteille dans ces cavernes et elle ne suit pas une faille longeant le bord septentrional de la Sologne, ainsi que le croyait M. Sainjon, faille qui d'ailleurs n'existe pas au dire de

Léon Janet. C'est donc la façon dont l'eau de la Loire se comporte dans les calcaires de Beauce qu'il faut étudier. A cet effet, M. Marboutin a étudié successivement : l'hydrographie du val d'Orléans, les hypothèses antérieures aux observations de M. Sainjon et les conclusions de ce dernier, la nature du sous-sol et les accidents tels que mardelles et bétoires, tantôt émissifs, tantôt absorbants qui ont été signalés dans le val d'Orléans. Il est à remarquer en effet que, dans cette région, il y a de nombreux exemples de pareils gouffres. Ils peuvent être absorbants ou jaillissants, suivant la position du plan d'eau dans les calcaires de Beauce et dans la Loire : les eaux sont ascendantes quand le plan d'eau des calcaires est situé au-dessus de l'orifice du gouffre ; celui-ci est absorbant quand ce même plan d'eau est inférieur.

L'origine de ces gouffres est due à un tassement des couches superficielles à la suite d'un effondrement dans des cavernes calcaires dont les sondages ont démontré l'existence.

Les expériences ont été faites à la fluorescéine. Je ne parlerai que des plus intéressantes. Parmi celles-ci on peut compter celle qui fut faite aux gouffres de La Bougère, commune de Châteauneuf, *sur la rive droite de la Loire*. Ces gouffres absorbent le ruisseau de l'Anche, exutoire de l'étang du Giblas. L'expérience fut faite le 29 avril 1901 : l'Anche avait un débit de 500 à 600 litres ; on y jeta entre quatre et cinq heures du soir 15 kilogrammes de fluorescéine. La couleur verte à été reconnue sur la rive droite de la Loire à Feaujuifs, hameau à l'embouchure de l'Anche, huit heures après le jet. Étant donnée la distance du point d'absorption au point d'émergence, cela correspond à une vitesse de 375 m. à l'heure. La coloration se montra sur la rive gauche de la Loire, en face de Feaujuifs au lieu dit le Christ, près de Jargeau, moins de vingt-six heures après le jet ; puis dans le Loiret, au pont de Lorette (à 1000 m. de la source du Bouillon), cent quatre heures après le jet, ce qui donne une vitesse apparente de 187 m. à l'heure ; enfin, aux sources de la Pie (près de l'embouchure du Loiret), vers la cent vingt-deuxième heure après le jet. Cette expérience met en évidence la communication des eaux de la rive droite de la Loire avec le Loiret et les sources de la région.

Les eaux de la Loire passent également dans le Loiret, comme le prouve une expérience faite dans les pertes du fleuve au droit de Sandillon sur la rive gauche. La coloration de la fluorescéine s'est montrée en plusieurs puits du val, dans le Loiret et à la prise d'eau d'alimentation de la ville d'Orléans.

On n'a pas opéré au droit de Bouteille parce qu'en ce point, contrairement à la légende, il n'y a pas de bétoire ; mais les pertes se font entre Bouteille et Orléans sur un parcours de 40 km.

Toutes les expériences ont établi l'existence de communications directes entre la Loire et le Loiret. D'ailleurs, la façon dont les crues en Loire se reconnaissent au trouble des eaux du Loiret ne laisse aucun doute à cet égard.

L'étude spéciale de ces troubles a permis à M. Marboutin d'établir que les crues de la Loire ne donnent un trouble appréciable à la prise

d'eau d'alimentation pour la ville d'Orléans et aux sources du Loiret que cinq à six jours après le début de la crue en Loire. La source de la Pie semble subir l'influence des eaux de la Loire bien plus rapidement que les autres sources. Cela tient probablement à ce que certains courants souterrains, faisant leur rentrée en Loire en aval d'Orléans, sont renversés en période de crue; d'ailleurs, ces sources sont en partie noyées à ce moment, ce qui en complique singulièrement l'étude.

Il existe, dans le val d'Orléans, deux nappes d'eau en superposition : l'une la nappe phréatique dans les alluvions, l'autre dans les calcaires de Beauce. Les eaux des calcaires de Beauce correspondent aux eaux profondes. Ces deux nappes communiquent entre elles; elles se comportent, l'une par rapport à l'autre, de façons très différentes suivant leur niveau piézométrique respectif.

L'étude de la nappe profonde est assez difficile; elle n'a pu être faite que par des sondages ou par l'examen des sources du Loiret et de la Pie. Elle a donné plusieurs résultats intéressants : « Les variations du niveau de la Loire se transmettent sans retard de phase appréciable dans les forages et à la prise d'eau d'Orléans, comme si l'eau circulait en tuyaux pleins. » On voit que, si l'amplitude des crues est grande dans le fleuve aux deux points d'observation (à Sandillon et à Orléans), elle est beaucoup moindre dans la nappe profonde, ainsi qu'en font foi les variations de niveau observées dans les forages et à la prise d'eau d'Orléans; néanmoins les crues s'y sont fait sentir en même temps.

La nappe du calcaire de Beauce est donc sous pression, ce qui s'explique aisément, étant donnés la cote du calcaire de Beauce et le niveau de la Loire qui lui est supérieur; suivant l'expression, elle est captive. Par suite, toute variation qui se fera sentir en Loire se fera sentir dans la nappe du calcaire de Beauce : les variations dans le niveau de la nappe du calcaire dépendent donc de l'importance des crues, du niveau qu'avait la Loire lorsque les crues se sont fait sentir, enfin, du niveau qu'occupait cette nappe avant la crue. Les écarts s'accusent de moins en moins à mesure que l'on s'éloigne de la Loire.

La surface du niveau piézométrique des eaux dans cette nappe présente une pente dans le sens d'écoulement de la Loire, mais cette pente est moindre que celle de la Loire : il en résulte que, si le niveau piézométrique est à 2 m. ou 2 m. 50 au-dessous du niveau de la Loire, près de Sandillon, il est au-dessus du niveau de la Loire au droit d'Orléans et en aval de cette ville et à la source de la Pie, ce qui explique comment l'eau de la nappe profonde peut être parfois jaillissante comme à Montauban.

La nappe phréatique est alimentée par les eaux de la Loire qui traversent les alluvions; elle peut recevoir également des eaux provenant de la nappe du calcaire de Beauce : la communication entre les deux nappes se fait, en effet, par des mardelles. Dès lors, lorsque le niveau piézométrique des eaux du calcaire de Beauce est supérieur à celui de

la nappe phréatique, il y a montée des eaux profondes dans la nappe phréatique; inversement, il y a écoulement des eaux de la nappe phréatique dans la nappe profonde quand le niveau piézométrique de celle-ci est inférieur à celui de la nappe phréatique.

Ce n'est pas seulement une hypothèse plausible, c'est bien ainsi que les choses se passent, comme il résulte de l'étude d'un forage et d'un puits situés au même point, le forage et le puits Pothier. Lors de la crue du 3 avril 1902, elle se fit sentir immédiatement dans le forage qui atteint la nappe profonde; elle se fit sentir plus lentement et avec moins d'intensité dans la nappe phréatique. Lorsque la Loire décrut, la descente se fit rapidement dans le forage, mais plus lentement dans le puits, c'est-à-dire dans la nappe phréatique qui se comporte comme un réservoir régulateur. Les graphiques concernant les variations du degré hydrotimétrique montrent qu'il y a pénétration, lors du retrait de la Loire, de la nappe phréatique dans la nappe profonde. En effet, lors de la crue de la Loire, le degré hydrotimétrique de la nappe profonde augmente parce qu'elle reçoit alors les eaux de la nappe phréatique qui sont plus riches en chaux que celles du calcaire de Beauce. La même conclusion peut être tirée de l'examen des températures. La température des eaux est différente dans les deux nappes, celle de la nappe profonde étant la plus élevée; mais, lorsque la Loire se retire, que les eaux de la nappe phréatique descendent dans la nappe profonde, elles abaissent par leur mélange la température de cette dernière, ainsi que le prouve l'écart qui diminue entre les températures des deux nappes.

L'étude des variations de température a donné lieu à une observation bien curieuse. Si on note les variations de température des eaux de la Loire et celles d'un forage qui atteint la nappe profonde (puits des Montées de la prise d'eau pour l'alimentation de la ville d'Orléans) et qui, par suite, est en relation avec le fleuve, on voit que les maxima et les minima des variations pour les eaux profondes sont en retard de deux à trois mois sur les maxima et les minima de la Loire. Ce retard est ce qu'on appelle un décalage.

Ce décalage varie avec chaque forage, puits ou source; pour un même forage, il varie avec les années. On a beaucoup discuté sur la cause de ce décalage. Il n'est pas en relation directe avec la hauteur d'eau de la Loire, mais avec la température du sol, avec la différence de température des eaux de la Loire et des eaux profondes, enfin, avec la quantité d'eau emmagasinée dans le sol. M. Marboutin a établi tous ces faits avec une habileté fort remarquable.

Il ne faudrait pas croire que ce décalage corresponde à un égal retard dans l'écoulement des eaux, retard pendant lequel elles pourraient se décanter, se purifier. Il faut l'interpréter ainsi: les eaux de la Loire, arrivant dans le calcaire de Beauce avec une température supérieure à celle de la nappe profonde, cèdent leur chaleur au calcaire qui s'échauffe progressivement. Il en est ainsi tant que l'eau de la Loire est plus chaude que le calcaire: jamais le calcaire ne peut

atteindre la température de l'eau de la Loire ; lorsque celle-ci décroît, il arrive un moment où elle est égale à celle du calcaire ; à partir de ce moment, la température du calcaire diminuera, donc la nappe qui est à la même température aura atteint son maximum. Il est évident que, dans ces conditions, le maximum de la température de la nappe profonde doit être en retard sur le maximum de température de l'eau de la Loire.

A la suite d'observations journalières sur les variations de température des eaux des deux nappes, M. Marboutin est arrivé à conclure que, dans la nappe phréatique, les valeurs extrêmes dépendent de la température atmosphérique et de la façon dont les puits reçoivent les eaux de la nappe du calcaire de Beauce.

Les forages dans lesquels le puisage n'est pas régulier présentent des écarts moindres que ceux des puits de la nappe phréatique ; mais ces écarts sont parfois plus accusés dans les parties profondes que dans les parties qui le sont le moins, contrairement à la règle. Il y a donc, dans la nappe du calcaire de Beauce, des perturbations profondes ; parfois même l'amplitude des variations annuelles de certains forages, comme de certaines sources (forages de la prise d'eau d'Orléans, sources de la Pie), est supérieure à celle observée dans la nappe phréatique.

Les variations journalières de température des eaux souterraines sont peu appréciables ; leur amplitude ne dépasse guère quelques dixièmes de degré. La température atmosphérique n'a que peu d'influence, tandis que les crues de la Loire produisent des perturbations plus grandes.

A la suite de ces études relatives aux caractères physiques des eaux, viennent des études chimiques et bactériologiques. La comparaison entre les variations de composition des eaux de la Loire et du Loiret a montré, dès 1901, que le degré hydrotimétrique des eaux du Loiret et de la prise d'eau d'Orléans, c'est-à-dire des eaux de la nappe profonde, était supérieur de 1 à 2° à celui de la Loire. De plus, les maxima de dureté des eaux du Loiret se manifestent de huit à dix jours après ceux de la Loire.

L'examen au point de vue microbiologique donne des résultats fort curieux, selon que la Loire est en période de crue ou en période normale. En période de basses et moyennes eaux, les eaux de la Loire paraissent subir dans leurs parcours souterrain une autoépuration très appréciable : le nombre des bactéries par centimètre cube, à la prise d'eau d'Orléans comme aux sources de la Pie, est inférieur à celui des eaux qui alimentent actuellement Paris. Mais, lors des crues de la Loire, il n'en est plus ainsi, du moins dans la région du val où se trouve la prise d'eau de la ville d'Orléans, celle où le sens des courants souterrains est le plus exposé à changer. Dans cette région, pour une seule crue de la Loire, on observe deux crues bactériennes. La première se manifeste dès que la crue de la Loire a atteint Orléans, et elle dure quatre à cinq jours ; la deuxième se produit dix à douze jours après les plus hautes eaux et elle dure six à huit jours. Le fait

peut s'expliquer ainsi : la surélévation des eaux cause une perturbation dans la circulation des eaux souterraines. Certains courants souterrains voient leur vitesse augmenter, d'autres changent de sens; les remous produits causent la première crue bactérienne; puis les eaux de la Loire arrivent aux sources plus ou moins épurées. C'est à ce moment que se produit un minimum relatif de bactéries. Enfin la crue passe. Les eaux de la nappe profonde baissent et sont suivies, dans leur mouvement de descente, par les eaux de crue emmagasinées dans la nappe phréatique; ces dernières arrivent ainsi aux sources, en leur apportant les impuretés recueillies dans la nappe, et causent la deuxième crue bactérienne.

Ces phénomènes sont très complexes et, de plus, l'arrivée d'eaux de surface par des bétouilles ou des mardelles, augmente encore la difficulté d'interprétation des faits.

De ces études qui ne sont que préliminaires, M. Marboutin avait tiré, en 1902, les conclusions suivantes relatives à la valeur des eaux du val d'Orléans :

« En période de crue, les eaux de la prise d'eau d'Orléans sont souvent troubles; elles reçoivent des contaminations importantes qui paraissent être locales.

En période normale, la constance de la composition bactériologique des eaux de la prise d'eau et des sources de la Pie est comparable à celle des sources qui alimentent Paris.

La composition, la température et le trouble des eaux du Loiret, des puits forés de la prise d'eau d'Orléans et des sources de la Pie permettent de considérer ces eaux comme dégrossies et rafraîchies. »

b) *Tertiaire dans le Nord de la France et la Belgique.* — J'ai déjà donné précédemment (d'après Gosselet), en même temps que celle du Crétacé, les nappes du Tertiaire et du Quaternaire du département du Nord : nous avons vu également la composition de ces terrains aux environs de Rouen.

Il est intéressant de rappeler qu'en Belgique l'Éocène occupe une grande partie du Sud-Ouest, avec une bande de Miocène et de Pliocène (sables de Diest, aquifères) au Nord. Aux environs de Bruxelles (fig. 27), l'Yprésien argileux à sa base repose soit directement sur les schistes primaires, soit sur la Craie, soit plus souvent sur le Landénien. Les sables yprésiens sont surmontés par les sables bruxelliens (Lutétien) et lédien (Bartonien) qui sont perméables (la nappe arrêtée par l'argile yprésienne peut occuper en hauteur les sables bruxelliens); puis on trouve l'argile de la base de l'Asschien (Ludien) et au-dessus les sables asschiens et tongriens qui contiennent une seconde nappe.

Aux environs d'Anvers, le Lédien et l'Asschien deviennent plus épais : les sables lédiens ont 38 à 40 mètres, l'argile asschienne 45 mètres, le sable asschien 20 à 25 mètres; il est sur-

monté par l'argile de Boom (40 mètres) qui appartient à l'Oligocène moyen (Rupélien) et est naturellement imperméable.

c) *Tertiaire dans le Sud-Est de la France*¹. — L'Éocène inférieur y est surtout calcaire : calcaires lacustres inférieurs. Leur ensemble est perméable jusqu'à la base constituée par l'étage rutilant lequel est argileux (argiles rutilantes de Vitrolles) et imperméable : il y a donc là un beau niveau d'eau. L'Éocène moyen et supérieur est représenté, le Bartonien par des marnes argileuses grises ou rouges et des sables bariolés (sables d'Apt) qui sont imperméables, et le Ludien par des calcaires et marnes à *Palæotherium* qui sont perméables et donnent des sources soit sur des couches de marne, soit surtout sur les couches sous-jacentes du Bartonien.

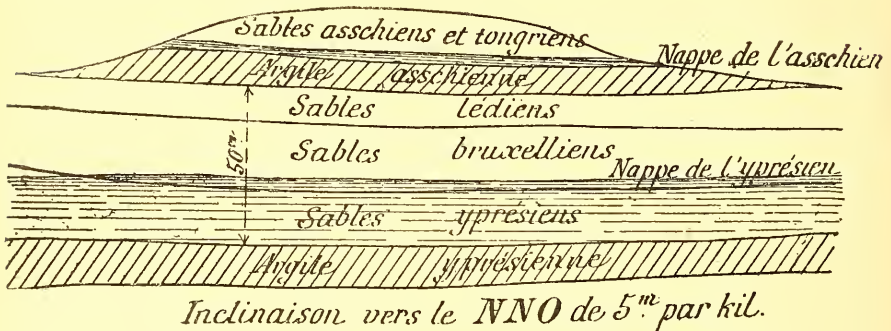


FIG. 27. — Coupé d'une colline des environs de Bruxelles.

Dans les Alpes, on distingue l'Éocène nummulitique et le Flysch : le terrain nummulitique formé de grès et de calcaires est essentiellement perméable, mais le Flysch schisteux qui les surmonte arrête les eaux. De là naturellement deux nappes, l'une à la base du Tertiaire, l'autre au-dessus du Flysch.

Dans les Corbières et le Languedoc, au-dessus des argiles rutilantes qui couronnent le Garumnien, l'Éocène débute par les calcaires lacustres à Physes et les couches nummulitiques, puis on trouve les calcaires marins à Miliolites et à Alvéolines : le tout forme un ensemble perméable avec principal niveau d'eau à la base. Au-dessus, les marnes à *Operculina granulosa* (Lutétien) arrêtent les eaux, qui tombent sur les grès de Carcassonne et d'Issel (Bartonien) et sur les poudingues de Palassou (Ludien), et forment un second niveau important.

1. En grande partie d'après M. Torcapel : note inédite.

L'*Oligocène* dans le Sud-Est est peu perméable, étant très marneux ; il y a cependant quelques niveaux d'eau dans les bancs calcaires ou gréseux, surtout à la base du Tongrien, mais l'eau en est souvent chargée de sulfate de chaux ou même franchement minérale (sources d'Euzet, des Fumades dans le Gard, de Villemus, de Vacqueyras, de Montbrun dans Vaucluse).

Miocène. — La mollasse calcaire du Burdigalien (pierre de Beaucaire et de Saint-Restitut) est trop compacte pour être bien perméable, et elle ne donne que de petites sources (mais assez nombreuses) sur les marnes sableuses qui sont le plus souvent à sa base. — Les sables et grès dits *safré* en Provence (Helvétien) sont également très compacts et forment une masse à peu près imperméable ; la surface seule se délite et absorbe une certaine quantité d'eau : toutefois quand les grès se développent, ils forment réservoir d'eau.

Au-dessus, le Tortonien comprend à la base les marnes de Cabrières totalement imperméables, puis la mollasse de Cucuron qui est perméable, mais étant peu épaisse, ne renferme qu'un petit niveau d'eau.

Le Pontien et le Sarmatien (marnes à *Helix Christoli*, limons et conglomérats à *Hipparion*) sont imperméables.

Pliocène. — Les marnes subapennines du Plaisancien, totalement imperméables, supportent dans le Gard des sables astiens, qui forment à leur base un beau niveau de sources, à débit assez constant (sources de Bellegarde, de Jonquières, de Clausonne, de Meynes, etc.).

d) *Tertiaire dans le Sud-Ouest de la France*. — Il reste le grand bassin tertiaire de l'Aquitaine, qui s'étend entre la bande supra-crétacée précédemment signalée et le pied des Pyrénées : la partie nord-est est éocène ; entre la Dordogne et la Garonne règne l'Oligocène, puis au Sud de la Garonne le Miocène, et enfin à l'Ouest la vaste région des Landes.

L'Éocène n'est pas sableux, comme dans le bassin de Paris, mais plutôt calcaire (calcaire à Miliolites à la base, avec 60 mètres d'épaisseur dans la Haute-Garonne, calcaires et marnes à *Operculina granulosa*, calcaire grossier de Blaye, calcaire de Plascac et calcaire de Saint-Estèphe). Des bancs marneux (marnes de Bos d'Arros, argiles de Blaye) s'intercalant entre les couches calcaires en font autant de niveaux d'eau, mais ils n'ont pas une grande puissance.

L'Oligocène est aussi formé d'une alternance de calcaires et de marnes : calcaires de Civrac et de Castillon, calcaire à Asté-

ries, calcaire blanc de l'Agenais (qui a 15 à 20 mètres d'épaisseur et représente le niveau d'eau le plus constant, affleurant sur les parois des vallées); ce dernier calcaire est encore recouvert-souvent d'autres couches alternantes de sables et d'argile, en dessus desquelles on trouve le calcaire gris de l'Agenais et quelquefois un troisième banc calcaire.

Le Miocène est surtout formé de faluns et de mollasses généralement perméables. Le plus beau niveau est donné par la molasse marine (4 à 5 mètres d'épaisseur) reposant sur les marnes lacustres de l'Armagnac : c'est à lui qu'appartient la fontaine du Bourg qui alimente Mont-de-Marsan. Il arrive assez souvent que la marne miocène imperméable soit recouverte directement par les graviers diluviens : dans ce cas, on a un niveau dans ces graviers, et c'est ainsi que se produisent les sources des plateaux de Lardenne et de Saint-Simon qui bordent la vallée de la Garonne, près de Toulouse.

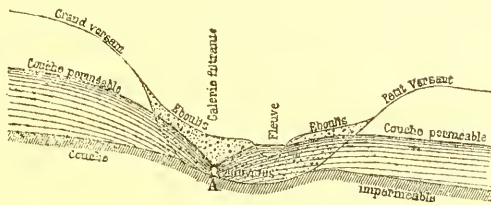
Enfin le Pléistocène est représenté par l'important dépôt du *sable des Landes*, caractérisé par un banc d'*alios*, c'est-à-dire par la présence à faible profondeur d'une couche dure et imperméable, formée de grains quartzeux agglutinés par des matières organiques et par un ciment d'oxyde de fer hydraté. Cet alios a de 0 m. 40 à 0 m. 50 d'épaisseur et est à environ 0 m. 50 de la surface : en dessous la couche de sable blanc est épaisse et, comme l'*alios* est souvent fissuré, elle est aquifère. Tout le monde connaît les beaux travaux d'assainissement entrepris sous l'impulsion donnée par Chambrelent, en vertu de la loi du 17 juin 1857. Non seulement, Chambrelent a appris aux populations à écouler les eaux stagnant à la surface, mais il leur a appris à capter aussi de bonne eau potable, en descendant des puits filtrants à 4 ou 5 mètres de profondeur dans le sable blanc au-dessous de l'*alios*, et en empêchant par une bonne maçonnerie et un bon corroi les eaux de surface d'y accéder.

V. — TERRAINS QUATÉRNAIRES.

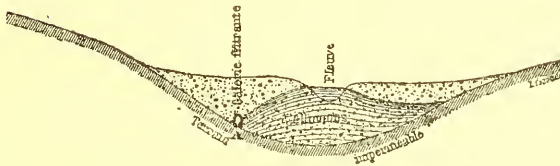
Ces terrains sont représentés en France : 1^o) par les terrains erratiques d'origine glaciaire ; 2^o) par les alluvions anciennes formant des terrasses au-dessus du fond des vallées fluviales et par les alluvions récentes qui remplissent ce fond ; 3^o) par les dunes côtières et les plages sablonneuses au bord de la mer.

1^o *Terrains glaciaires*. — Les terrains glaciaires sont limités aux régions alpines et pyrénéennes et à une petite zone autour du Cantal. Il y a généralement des couches argileuses interca-

lées au milieu des lits sableux et graveleux, et on a une nappe d'eau plus ou moins étendue au-dessus de chaque couche imperméable, ainsi que dans la couche de gravier qui règne généralement au-dessus de la roche ancienne. Je ne connais que les villes de Thonon et d'Évian qui prennent des eaux, d'ailleurs très bonnes, dans ces terrains : ce sont des sources naissant dans les terrasses glaciaires qui dominent le lac de Genève, et, en 1908, Évian a complété son alimentation en captant en place dans des sables fins au moyen de puits à crépine spéciale du système Ch. Cuau.



I. Cas d'une vallée à coteaux perméables.



II. Cas d'une vallée à coteaux imperméables.

FIG. 28. — RELATIONS D'UN FLEUVE ET DE LA NAPPE SOUS-TERRAINE (GALERIE FILTRANTE).

2° *Alluvions dans les vallées fluviales.* — Il y a au contraire bon nombre de villes qui prélèvent leur eau dans les alluvions des vallées, au moyen soit de galeries, soit de puits dits *filtrants*. Mais la nappe qui circule dans ces alluvions et qu'on appelle souvent la *rivière souterraine* a des relations très variables suivant les cas avec le cours d'eau superficiel. Voici les deux cas extrêmes (fig. 28) :

Dans le premier cas, — celui que Belgrand avait cru être général, — les coteaux sont perméables et reposent ainsi que les alluvions sur un substratum imperméable situé à une certaine profondeur : il y a alors une nappe aquifère sous les coteaux, et

ces deux nappes latérales alimentent la rivière souterraine, qui peut par suite contenir des eaux de provenance et de nature différentes de celles de la rivière visible. Suivant l'abondance de ces apports et le niveau de la nappe souterraine (lesquels dépendent des conditions météorologiques et varient avec elles), cette nappe communique avec la rivière, soit pour lui emprunter, soit pour lui fournir de l'eau (sources naissant dans le lit des cours d'eau), en sorte que le processus peut changer avec les saisons. Le second cas est celui où les coteaux étant imperméables ne fournissent aucun apport souterrain : alors l'eau contenue dans les alluvions ne provient que du fleuve ; elle a la même composition et température que lui ; enfin son niveau reste forcément en contre-bas de la cote hydrométrique fluviale : en d'autres termes, le fleuve apporte l'eau d'infiltration qui imbibe les alluvions.

Entre ces deux cas extrêmes, il y a bien entendu tous les intermédiaires. C'est d'ailleurs un des avantages de la nappe voisine d'une rivière de pouvoir être alimentée par elle, ce qui permet en basses eaux de faire appel au débit généralement très large du cours d'eau.

3° *Nappe des dunes ; nappes et sources au bord de la mer : salure de leurs eaux.* — Le voisinage de la mer apporte un trouble très considérable dans l'allure des nappes situées à proximité, ainsi que dans la composition chimique de leurs eaux. Au point de vue de la mécanique hydrologique, la mer agit sur les nappes aquifères continentales comme le ferait une vallée de profondeur énorme, à un seul versant (la côte) recoupant les formations géologiques rencontrées : les nappes affleurent donc dans ce talus océanien, mais elles y trouvent, au lieu du vide comme dans une vallée terrestre, une contre-pression résultant de la présence de l'eau de mer. Dans les mers à marée, cette contre-pression varie avec le niveau de la mer : de là dans l'écoulement de l'eau douce un jeu rappelant, avec un certain retard, les alternances du mouvement lunaire. D'un autre côté, au contact de l'eau salée, il se passe un phénomène très important, la diffusion¹, en vertu de laquelle les chlorures dissous dans l'eau de mer passent en partie dans l'eau douce et se font sentir plus ou moins loin dans l'intérieur des terres.

1. La diffusion a été étudiée par de nombreux physiciens : le mémoire qui sert de base à cette étude est celui de Graham de 1862 [in *Annales de physique et de chimie*]. Nous n'en retiendrons qu'une loi : c'est que la vitesse de diffusion est proportionnelle à la différence de salure entre les deux éléments en contact, et que la salure cesse au point où cette vitesse devient égale à celle de l'apport d'eau douce.

Ces considérations permettent d'expliquer d'ordinaire assez facilement les faits, parfois différents les uns des autres et même contradictoires en apparence, qu'on remarque sur les bords de la mer. Comme le mouvement des filets liquides, aussi bien que la diffusion du sel, se passe au travers des pores et interstices du terrain, lesquels opposent une résistance d'autant plus grande qu'ils sont plus fins, on comprend que la vitesse et l'amplitude de ce mouvement dépendent de la nature du sol constituant le rivage : les conditions seront donc bien différentes suivant qu'il s'agira de sables poreux ou de calcaires à larges fissures. En outre, la pente de l'imperméable formant le substratum d'une nappe peut être orienté soit vers la mer, soit en sens contraire : dans le premier cas, elle facilite le déversement des eaux douces dans l'Océan, tandis que dans le second elle facilite au contraire l'introduction de l'eau salée et la diffusion du sel au loin sous le continent.

Les masses de sable qui occupent souvent au bord de la mer des étendues considérables reçoivent les eaux que la pluie déverse sur leur superficie, et aussi dans bon nombre de cas le produit des nappes du continent qui affleurent sous les sables : ces eaux glissent d'ordinaire sur une couche imperméable plus ou moins profonde et finissent par se mêler aux eaux saumâtres. Mais, de même que les sables se sont relevés en monticules ondulés appelés dunes, de même la nappe d'eau douce se relève généralement au-dessus du niveau de la mer et suit en quelque sorte les ondulations de la surface (c'est aux dunes de Gascogne que cette forme de la nappe a été reconnue ; pour la première fois là, les sables des Landes reposent sur les faluns miocènes de Salles et de Léognan et les couches plongent vers la mer).

Les dépressions de la nappe correspondant aux creux des dunes sont expliquées par la plupart des auteurs, par le fait que l'évaporation se faisant plus facilement dans ces parties la nappe y serait appauvrie et par suite abaissée : il semble aussi que la capillarité a une puissance plus grande dans les tubes plus longs. Quant à la surélévation de la nappe d'eau douce par rapport au niveau de la mer, elle a été bien expliquée par Herzberg dans son étude sur l'île de Norderney¹, étude où il a montré l'eau douce flottant en quelque sorte en raison de la différence de densité au-dessus de l'eau salée : l'eau douce a ainsi la forme d'une lentille (fig. 29) et elle s'élève à 1 m. 40 au-dessus du niveau moyen de la mer, tandis qu'elle descend à 53 mètres. Si H est l'épaisseur

1. Voir *Deutscher Verein von Gas und Wasserfachmännern*, 1901.

totale maxima de la lentille d'eau douce, t sa surélévation au-dessus du niveau moyen de la mer, h la profondeur limite où on trouve l'eau salée, on aura : $H = h + t$.

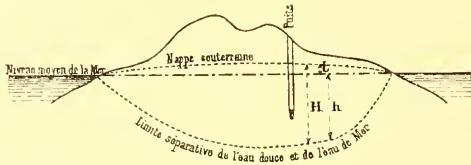


FIG. 29. — Coupe de l'île de NORDERNEY (Herzberg).

Mais la colonne d'eau douce H fait équilibre à la colonne d'eau salée h , dont la densité est $1 + d$, et on a aussi : $H = h(1 + d)$, d'où on tire : $h = \frac{t}{d}$. Or $d = 0,027$, ce qui pour $t = 1$ m. 40 donne bien $h = \frac{1,40}{0,027} = 51$ m. 85, chiffre très voisin de celui constaté par expérience.

L'île de Norderney est une île entièrement sablonneuse et de faible largeur : elle était donc admirablement choisie pour voir comment se comportaient les eaux douces vis-à-vis de la mer. En fait les puits proposés par Herzberg ont parfaitement réussi à donner de l'eau potable : les oscillations de niveau en correspondance avec la marée n'y ont pas une amplitude de plus de 20 cm. Toutefois, il est bien évident que le pompage dans les puits doit rester modéré, sans quoi on troublerait l'équilibre et on attirerait l'eau salée : il est clair aussi qu'il faut éviter de descendre l'aspiration au bas des puits, et autant que possible puiser au voisinage de la surface.

Cet exemple auquel il faudrait ajouter celui de l'île de Long-Island (États-Unis) et de ses stations de pompage nous a paru utile à citer afin de mettre en garde les ingénieurs qui seraient tentés de chercher l'eau dans les sables voisins de la mer : il conviendrait en tout cas d'établir des stations d'essai, avec épuisements intensifs et prolongés, avant de pouvoir se prononcer.

Si au lieu d'une île, on a affaire à un continent, les choses se passeront d'une manière analogue, mais d'un côté seulement.

C'est surtout et pour le littoral belge et hollandais que la question s'est posée; elle a fait l'objet de discussions récentes entre MM. Dubois¹, van Ertborn² et d'Andrimont³. Ce dernier fait remarquer que sur le littoral belge le niveau de l'eau des dunes étant à 2 m. 35 au-dessus du niveau moyen de la mer, la formule et la théorie d'Herzberg donnent une profondeur de 87 mètres pour la limite entre l'eau douce et l'eau salée; mais en fait la couche yprésienne imperméable (fig. 30) qui supporte les sables vient s'interposer avant qu'on ait atteint cette profondeur. Dans ces conditions la limite séparative qui, d'après la théorie⁴, devrait être ondulée, peut se limiter à sa première partie côté de la mer: on s'explique ainsi les variations remarquées suivant les lieux, variations qui sont en relation avec la profondeur de l'imperméable (Ainsi à Heyst, un puits de 15 mètres de profondeur situé à 40 mètres de la mer donne de l'eau douce, tandis qu'un puits de 10 mètres situé à 20 mètres de la rive donne de l'eau salée: il suffit que le premier soit tombé dans le creux de la courbe limite).

On peut aussi avoir des cas beaucoup plus compliqués, lorsqu'il existe plusieurs couches imperméables superposées. Ainsi

1. Dubois. Note complémentaire à l'étude hydrologique du littoral belge; *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXXVI et note précédente, t. XXXI, ainsi que: Étude sur les eaux souterraines des Pays-Bas; *Archives du Musée Taylor* (série 2, t. IX, 1904).

2. VAN ERTBORN. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, t. XVI, p. 517; t. XVII, p. 297; et t. XVIII, p. 217.

3. D'ANDRIMONT. Notes sur l'hydrologie du littoral belge; *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXIX (mai 1902); et *Idem*, t. XXX (18 janvier 1903); et *Idem*, t. XXXII (19 février 1905); ainsi que: Étude hydrologique du littoral belge envisagé au point de vue de l'alimentation en eau potable; *Annuaire de l'Association des Ingénieurs de l'École de Liège*, t. XVI, 1903.

4. M. d'Andrimont s'est assuré expérimentalement que cette limite donnée par la théorie d'Herzberg se réalisait bien dans la pratique, si aucune cause de trouble n'intervenait. Dans une cuve inclinée et remplie de sable, il a d'abord versé une solution de bichromate de potasse ayant même densité que l'eau de mer, qui a dessiné ainsi l'horizontale du niveau de l'eau; sur le sable du côté continent il a versé de l'eau douce incolore et il a observé que l'eau saumâtre colorée en jaune a été refoulée et que la limite séparative a bien pris la forme d'une sinusoïde: la zone de diffusion était peu importante au contact des deux eaux, et après huit jours la distinction était encore très nette. Pour mieux suivre le trajet des gouttes liquides, l'auteur avait déposé sur les parois de verre quelques grains de permanganate de potasse, lesquels donnent des traînées colorées indiquant le chemin parcouru par les molécules liquides au moment où elles vont atteindre la nappe aquifère.

Ce procédé peut aussi servir à étudier la forme et le mouvement de l'eau dans les nappes, en reproduisant à peu près les conditions où elles se trouvent. C'est ainsi que l'auteur a démontré que dans la nappe qui s'étend sous les coteaux d'une vallée, la partie en mouvement n'est pas seulement celle qui est au-dessus du niveau du thalweg, mais s'étend aussi en dessous, en sorte qu'une partie de l'eau a un trajet ascendant vers les exutoires de la vallée.

TABLEAU DES NAPPES AQUIFÈRES DE FRANCE ET DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE LEURS EAUX

Terrains contenant les nappes.	Nombres de villes alimentées.	Nombres d'analyses.	Composition chimique moyenne.									
			Degré hydroimétrique total.	Degré hydroimétrique permanent.	Résidu fixe à 110°	CaO	MgO	NaCl	SO ³	AzO ³ H	SiO ²	
1. Granite, gneiss, roches primitives.....	49	35	5°8	4°1	101	19,4	9	40,4	41,8	14,2	13,6	
II. Roches volcaniques, (trapp, laves, basaltes, etc.).....	6	4	8	2,5	82,1	29	26,5	10,2	7,5	traces	22,9	
III. Schistes primaires (Cambrien, Silurien, Dévonten).....	15	7	8,9	2	153,1	32,2	13	32,2	7,5	8,3	18,5	
IV. Calcaires dévoniens...	5	4	29	7	224	138	19,2	138	34,3	traces	traces	
V. Calcaires carbonifères.	2											
VI. Grès permien, vosgien, bigarré.....	7	24	5,4	2,6	40,6	25,2	5,7	3,8	3,7	0,2	5,5	
VII. Muschelkalk.....	3	11	27,2	7	315	137	23	10	28	3	—	
VIII. Keuper et calcaire dolomitique (Keupérien).	3	20	38,3	20,8	469	151	62	47,9	37,7	traces	traces	
IX. Grès rhétien et infra-liasique (Sinémurien)....	4	7	28,9	9,6	441	128	29	43,7	36	id.	id.	
X. Calcaire liasique.....	3	17	30	5	388	438	19,2	15	20	id.	id.	

en milligrammes par litre.

pas d'analyse

Oolithe	XI. Bajocien.....	32	73	23,5	7,4	270	116	8,6	14,6	16,9	id.
	XII. Bathonien.....	3	32	22,6	5,6	252	119	8	20,4	13,7	7
	XIII. Corallien et Astartien.	14	25	24,7	5,8	328	120	12	9,8	19	traces
	XIV. Portlandien, Virgulien et Jurassique supérieur.	18	12	20,2	5,5	285	93,7	16,5	20,7	19,5	6,8
Crétacé	XV. Néocomien et Urgonien.....	19	15	20,3	7,9	250	105	7,8	37	40,2	2,8
	XVI. Sables verts et Gaize...	4	4	20,8	9,5	300	107	10,5	29,4	27,3	—
	XVII. Craie moyenne ou glauconieuse (Cénomannien).	5	7	25,6	7,7	364	111	20,9	42,9	23,6	16,3
	XVIII. Craie supérieure (Turonien et Sénonien)....	61	62	25,9	6,5	350	119	12,2	37,7	19,5	15,9
Eocène	XIX. Sables landéniens et sables de Bracheux.....	3	6	22,8	—	184	73,5	23,4	27	31,8	15,3
	XX. Sables yprésiens ou du Soissonnais.....	6	3	35,6	21,5	421	140	24,6	27	72,4	—
	XXI. Calcaire grossier (Lutétien) et sables de Beauchamp.....	8	3	29,8	9,6	332	116	36,1	25,2	25,4	7,7
Oligocène	XXII. Sables de Fontainebleau et calcaire lacustre....	9	12	28,3	14,4	373	111	28	32,3	46,7	22,4
	XXIII. Calcaires de Beauce (Aquitannien).....	11	3	29,3	13,5	443	147	20	36,4	34,8	14
	XXIV. Mioène et Pliocène (Molasse et faluns)....	6	7	22,3	4,3	258	75,6	5,6	23,5	26,5	—
XXV. Alluvions quaternaires.	52										

très variable

dans le cas de deux couches de ce genre (fig. 31) un puits pourra retrouver de l'eau douce après avoir donné à une profondeur moindre de l'eau salée. Si on suppose, comme cela arrive en Hollande au droit de l'ancienne mer de Haarlem, qu'il y a du côté continental une dépression plus basse que la mer elle-même, il est clair qu'on aura un partage de l'écoulement de la nappe des dunes,

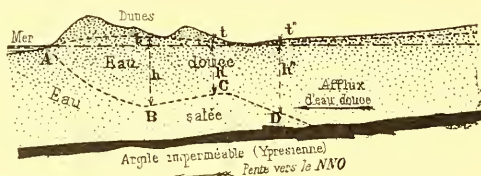


FIG. 30. — SÉPARATION DES EAUX DOUCES ET DES EAUX SALÉES SOUS LE LITTORAL BELGE (d'après d'Andrimont).

absolument comme si on était dans une île avec prédominance de l'attraction vers la zone la plus déprimée : c'est ce qui a été constaté par les observations de Penninck¹.

En réalité, la limite de l'eau douce et de l'eau salée n'est pas tranchée. C'est toute une zone où se fait la diffusion, celle-ci

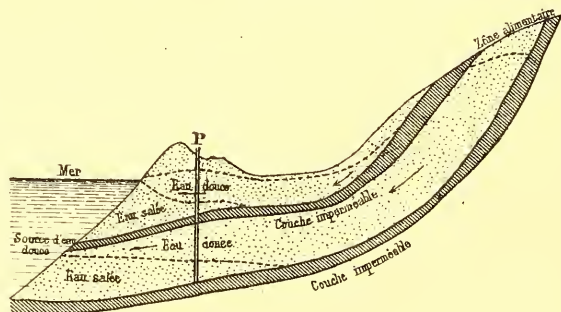


FIG. 31. — RELATIONS DE L'EAU DOUCE SOUTERRAINE ET DE L'EAU DE MER. Cas de deux couches imperméables (d'après d'Andrimont).

salant et rendant plus denses les eaux douces de bas en haut, et ces eaux douces se trouvant ainsi amenées en se salant à se perdre vers le bas par mélange direct avec les eaux saumâtres. C'est ce qui explique que toutes les eaux ne s'écoulent pas hori-

1. PENNINGK. Prises d'eau dans les dunes pour la ville d'Amsterdam : *Institut royal des Ingénieurs*, La Haye, 1904.

zontalement vers la mer, et cela traduit la *perte d'eau mystérieuse* que Penninek signale comme se faisant dans les dunes hollandaises. — Il est clair que les figures précédentes devraient aussi tenir compte de la zone de diffusion.

Un autre exemple très intéressant est celui de la ville de La Rochelle, et de ses environs, dont nous avons déjà décrit précédemment l'hydrologie. La ville pompe au puits de Périgny, situé à 3 km. 500 de la mer, l'eau du calcaire séquanien : la marée ne s'y fait plus sentir que de 20 cm. ; mais la teneur en chlorure de sodium est encore très forte. Elle est maxima en décembre (1 gr. 045 par litre) et minima en juillet (0 gr. 316), tandis que le carbonate de chaux varie en proportion inverse : cela prouve qu'en hiver et en automne la proportion d'eau de mer est très forte, tandis que ce n'est qu'en été que l'eau douce apportant le carbonate de chaux est plus abondante (la saison la plus pluvieuse étant le printemps, cela indique un retard de deux ou trois mois entre les pluies et l'arrivée des eaux souterraines près de la mer). Dans la vallée du Curé, c'est jusqu'à 15 et 20 km. du littoral que le chlorure de sodium venant de la mer (il ne faut pas le confondre dans les puits avec celui qui vient de l'urine et du purin) se fait sentir : la zone de diffusion s'étend donc très loin, favorisée qu'elle est par le pendage des couches vers le Sud-Ouest.

TABLE DES MATIÈRES

Les Nappes aquifères de France.

Examen des nappes aquifères dans les divers terrains et les diverses régions de la France.

	page
I. TERRAINS PRIMITIFS ET TERRAINS VOLCANIQUES.....	180
II. TERRAINS PRIMAIRES.	
1° Précambrien, Cambrien et Silurien.....	182
2° Dévonien, Carbonifère et Permien :	
a) dans l'Ardenne et le bassin franco-belge.....	183
b) dans le Boulonnais.....	186
c) dans l'Armorique.....	186
d) autour du Plateau central.....	186
III. TERRAINS SECONDAIRES.	
a) Jura-Trias dans les régions Est et Sud-Est du bassin de Paris....	187
b) Jura-Trias à l'Ouest du bassin de Paris et dans les Charentes....	194
c) Jura-Trias dans le reste de la France.....	195
d) Crétacé dans le bassin de Paris.....	197
1° Région des sources de la Vanne.....	198
2° Région des sources du Loing et du Lunain.....	201
3° Région des sources de l'Avre et de la Vigne.....	202
e) Crétacé au Nord du bassin de Paris.....	206
f) Crétacé dans le Sud de la France.....	210
(Exemples des fontaines de Vaucluse, de Nîmes et du Lez.)	
IV TERRAINS TERTIAIRES.....	214
a) Bassin de Paris.....	215
Exemple de la région des sources de la Dhuis.....	218
Exemple de la rivière l'Œuf (calcaire de la Beauce).....	222
Exemple du val d'Orléans et sources du Loiret.....	223
b) Tertiaire dans le Nord de la France et la Belgique.....	231
c) Tertiaire dans le Sud-Est de la France.....	232
d) Tertiaire dans le Sud-Ouest de la France.....	233
V. TERRAINS QUATERNAIRES.....	234
1° Terrains glaciaires.....	234
2° Alluvions des vallées fluviales.....	235
3° Nappe des dunes ; nappes et sources au bord de la mer.....	236
Tableau des nappes aquifères de France et de la composition chimique moyenne de leurs eaux.....	240-241
