

SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

Prix Henri Milon 1969

HYDROGÉOLOGIE DE PARIS ET DE SA BANLIEUE

par Ph. DIFFRE

Docteur Troisième Cycle,
Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

La présente étude(*) est le résumé de la thèse de Doctorat de Troisième cycle, préparée dans le cadre des travaux du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Service Géologique Régional Bassin de Paris), et soutenue le 1^{er} mars 1969 à la Faculté de Sciences de Paris, devant une commission d'examen présidée par Monsieur le professeur Louis GLANGEAUD, membre de l'Institut.

Le but de ce travail était de faire la synthèse des données hydrogéologiques existantes sur la région de Paris. La représentation cartographique de l'essentiel de ces données a permis l'élaboration de la carte hydrogéologique au 1/50 000^e de Paris (Bureau de Recherches Géologiques et Minières 1970).

Données générales

Le site de Paris ne forme pas une unité morphologique bien définie. Entre le Parisis au nord, la Brie à l'est, et le Hurepoix au sud-ouest, c'est une confluence aussi bien de rivières que de régions naturelles. Au point de vue géographique physique, la Seine avec ses méandres est le trait caractéristique de cette région. Elle est bordée de petites plaines alluviales (le Marais, plaine de Grenelle, boucles de Boulogne et de Gennevilliers) ou de côteaux limitant des plateaux (Villejuif, Charenton, Passy, Meudon-Clamart). Les principaux reliefs (Butte-Montmartre, colline de Bel-

leville-Montreuil, le Mont-Valérien et la butte du Moulin d'Orge) peuvent être rattachés à la Seine, ce sont des buttes témoins de son érosion.

Dans les limites de la feuille topographique au 50 000^e Paris, centrée sur Paris et comprenant une centaine de communes de banlieue, il a été recensé, en 1962, plus de six millions d'habitants. Les activités humaines ont modifié certains caractères naturels de cette région, en particulier le relief (par les remblais), le climat (réchauffement dû à l'effet urbain) et l'état des nappes souterraines. En effet, le sous-sol de Paris est très riche en eaux souterraines. Parmi les nombreux facteurs favorables à l'essor économique du site de la capitale, cette richesse n'était pas négligeable. Chaque jour, il est prélevé actuellement plus de 300 000 m³ d'eau par les forages.

Géologie

La lithologie et la structure du sous-sol de Paris sont bien connus grâce à plusieurs milliers de sondages et forages exécutés pour la reconnaissance des carrières souterraines, pour les fondations d'immeubles ou pour la recherche d'eaux.

Les faciès et épaisseurs des principales formations sont résumés dans le tableau 1.

La Seine a entaillé ces formations jusqu'à la craie. Une grande partie de la région est recouverte d'alluvions et de remblais.

(*) Le texte du mémoire de M. Ph. DIFFRE peut être consulté au Secrétariat de la S.H.F., 199, rue de Grenelle à Paris (7^e).

Tableau 1

		FACIES	EPAISSEUR (en mètres)
QUATERNAIRE.	Alluvions.	Argiles, sables et graviers.	10 (Opéra)
STAMPIEN.	Sables de Fontainebleau.	Sable quartzeux fin.	64 (Meudon)
	Marnes à huîtres.	Marnes.	5 (Montmartre)
	Formation de Brie.	Calcaire siliceux et marnes.	4 (Belleville)
	Marnes vertes.	Argile compacte.	7 (Montmartre)
BARTONIEN.	Marnes et gypses ludiens.	Marnes et gypses.	48 (Montmartre)
	Sables de Monceau.	Sables fins argileux et grès.	2 (Batignolles)
	Calcaire de Saint-Ouen.	Calcaires et marnes.	12 (La Villette)
	Sables de Beauchamp.	Sables fins argileux et grès.	12 (La Villette)
LUTÉTIEN.	Marnes et caillasses.	Calcaires et marnes.	18 (République)
	Calcaire grossier.	Calcaires massifs puis sableux.	16 (République)
YPRÉSIEN.	Sables cuisiens. Fausses glaises. Sables d'Auteuil.	Alternance de sables et d'argiles ligniteuses.	14 (Arsenal)
	Argile plastique.	Argile bariolée ou grise.	12 (Arsenal)
MONTIEN.	Calcaire et marnes de Meudon.	Marnes et calcaire.	15 (Halles)
SÉNONIEN - TURONIEN.	Craie.	Craie à silex.	390 (Ivry)
CÉNOMANIEN.	Craie.	Craie, marnes, calcaires, argiles.	60 (Ivry)
ALBIEN.	Argiles du Gault.	Alternance de sables quartzeux et d'argiles.	20 (Ivry)
	Sables de Frécambault.		30 (Ivry)
	Argiles à Tégulines.		10 (Ivry)
	Sables de Drillons.		13 (Ivry)
	Argile de l'Armance.		3 (Ivry)
	Sables verts.		11 (Ivry)

Structure et variations de faciès et d'épaisseur.

La surface de base du lutétien (fig. 1), connue grâce à six cent cinquante sondages, indique la structure tectonique actuelle de la région. Le synclinal de la Seine s'étalant entre Argenteuil et Sevran s'approfondit sous les communes de Saint-Denis, Epinay et Saint-Ouen. C'est ce qu'on appelle la « fosse de Saint-Denis ». L'anticlinal de Meudon-Saint-Maur longe la limite sud de la feuille. La ville de Paris est située entre ces deux structures, ses assises penchent donc vers le nord.

D'une façon générale, l'épaisseur des formations augmente depuis l'anticlinal vers la fosse de Saint-Denis. Les épaisseurs indiquées dans le tableau 1 sont à peu près intermédiaires entre les valeurs extrêmes. Cette variation d'épaisseur est surtout importante au niveau de l'Yprésien : sur l'anticlinal, l'étage n'est représenté que par quelques mètres d'argile plastique; dans le centre de Paris, on rencontre déjà quelques lentilles sableuses (sables d'Auteuil-fausses glaises); dans la fosse de Saint-Denis, les lentilles de sable sont de plus en plus nombreuses et épaisses : l'épaisseur cumulée des sables peut atteindre 30 m (fig. 2).

En dehors des masses de gypse ludien bien connues (Montmartre-Belleville), il faut signaler la présence de gypse antéludien en lames, lentilles ou cristaux isolés dans presque toutes les formations, en particulier en zone synclinale, surtout dans les sables de Monceau, le calcaire de Saint-Ouen, les sables de Beauchamp, les marnes et caillasses.

Propriétés aquifères des formations.

La plupart des formations constituent de bons réservoirs aquifères de perméabilité équivalente. Les sables yprésiens et les marnes et calcaires lutétiens, de par leur épaisseur et leur extension actuelles, sont les plus importants. Seules l'argile plastique et les marnes vertes sont nettement imperméables. Dans toutes les autres formations, la comparaison des perméabilités ne permet pas de différencier des catégories bien distinctes. Quelle que soit la lithologie (sables de Beauchamp, calcaire grossier, sables yprésiens, craie et alluvions), les perméabilités de l'ordre de 10^{-4} m/s sont les plus fréquentes. La perméabilité varie souvent plus d'un sondage à un autre dans une même formation que d'une

formation à l'autre (dans les marnes et caillasses par exemple, 10^{-6} m/s à Bercy, 10^{-3} m/s à la porte de la Chapelle).

Perméabilité des principales formations **Tableau 2**
en m/s

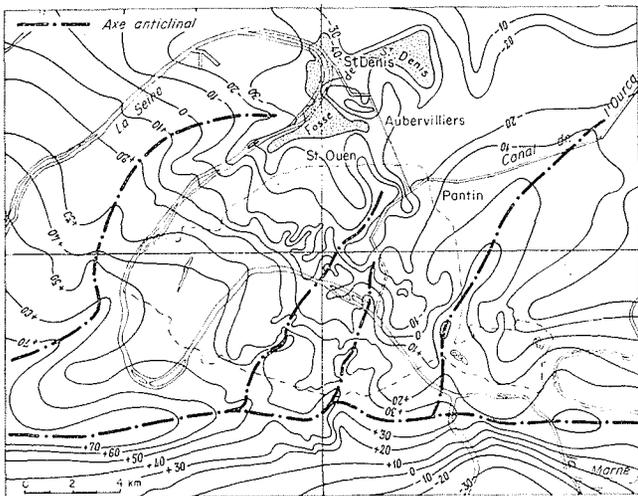
Alluvions modernes.	10^{-8} à 10^{-4}
Alluvions anciennes.	10^{-5} à 10^{-3}
Sables de Beauchamp.	10^{-4}
Marnes et caillasses.	10^{-3} à 10^{-6}
Calcaire grossier.	10^{-3} à 10^{-6}
Sables yprésiens.	10^{-4}
Argile plastique.	10^{-9} à 10^{-8}
Craie.	10^{-5} à 10^{-4}

Climat

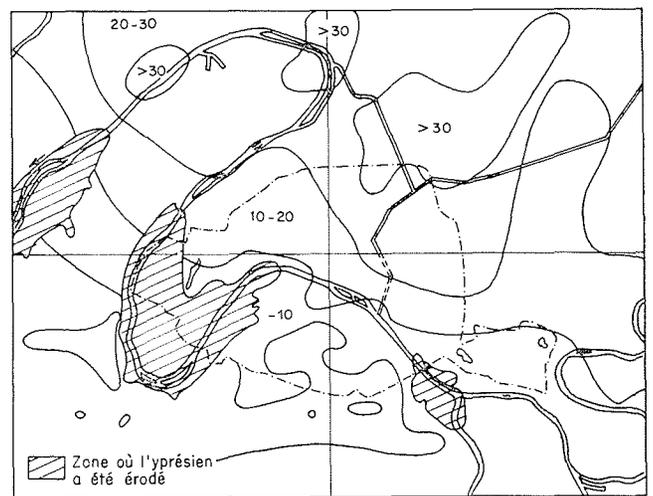
Le climat séquanien, qui intéresse tout le Bassin Parisien, est caractérisé par une température moyenne annuelle relativement froide, des précipitations peu importantes et la faiblesse des vents. Le nombre d'heures d'insolation est faible (1 700 h par an) par rapport au reste de la France (1 700 à 3 000 h).

Il tombe en moyenne 603 mm de pluie (maximum en octobre, minimum en février). Cette pluie tombe sur 167 jours. Il neige seize jours par an, mais le sol ne reste couvert de neige que douze jours. La température moyenne est de 11 °C.

L'agglomération parisienne, comme la plupart des grandes cités, perturbe le climat régional. Les immeubles constituant des sources de chaleur, surtout en hiver, la température est plus élevée en ville bien que l'insolation soit moindre par suite de la pollution atmosphérique.



1/ Surface de base du Lutétien.



2/ Epaisseur cumulée des sables yprésiens.

Généralement, les villes reçoivent plus de pluies que les campagnes à cause de l'abondance des noyaux de condensation. Pour Paris, l'effet de relief l'emporte. Le centre déprimé de la capitale, où la pollution est pourtant plus intense, correspond aux pluies les plus faibles (fig. 3).

Les eaux de surface

La Seine.

La Seine, qui parcourt plus de 50 km de Vitry à Chatou, a un rôle important vis-à-vis des nappes souterraines. A l'état naturel, elle coule sur ses alluvions mais, dans Paris même, pendant longtemps ces alluvions ont été exploitées. Actuellement, son lit est encore dragué chaque année, en certains endroits, pour enlever les limons et les sables apportés par les crues et les déversoirs d'orage. N'étant pas véritablement canalisée, elle constitue le niveau de base de la nappe phréatique qui peut donc être influencée par ses crues. Les amplitudes de ces crues sont, en moyenne, au pont Notre-Dame :

— Crue annuelle.	1,20 m
— Crue bi-annuelle.	2,70 m
— Crue quinquennale.	4,30 m
— Crue de 25 ans.	6,00 m
— Crue de 1910.	7,35 m

Son débit moyen est de 275 m³/s, il peut être inférieur à 100 m³/s à l'étiage et dépasser 2 000 m³/s en période de crue. Même en période normale, une partie non négligeable de son débit contribue vraisemblablement à l'alimentation des nappes semi-profondes.

Canaux, pièces d'eau et rivières artificielles.

Leur fond étant corroyé (ou même cimenté par endroits), les canaux de l'Ourcq, de Saint-Denis et de Saint-Martin n'ont, en principe, pas de relations avec les eaux souterraines. Ils ont pourtant été jadis la cause d'« inondations souterraines ».

Actuellement, on remarque localement, à proximité de leurs rives, quelques niveaux piézométriques parfois proches de leur plan d'eau. La mise en place de palplanches diminue ces infiltrations.

Les petits lacs et étangs situés dans Paris et surtout dans sa périphérie (bois de Boulogne, bois de Vincennes, parcs de Meudon et de Saint-Cloud) sont artificiels. Seul, le lac Saint-Mandé est situé à l'emplacement d'un ancien étang naturel, exutoire du rû de Montreuil. Les rivières des bois de Boulogne et de Vincennes reliant les différentes pièces d'eau sont également artificielles. Ces ensembles sont alimentés par de l'eau de la Seine ou de la Marne.

Egouts.

La plupart des rivières naturelles secondaires (Bièvre, rû de Montreuil, ruisseau de la Vieille-Mer, etc.) ont été ou doivent être aménagées, transformées en égouts, canalisées ou supprimées. Peu à peu, le réseau d'assainissement s'est substitué au réseau hydrographique naturel. Dans les secteurs équipés en système « séparatif », les eaux de pluie s'écoulent directement dans la Seine; dans les secteurs équipés en système « unitaire », elles sont emmenées, comme les eaux usées, à Achères. La plus grande partie de la région envisagée étant équipée en système unitaire, seul, le surplus des eaux des forts orages se déverse directement dans la Seine.

Infiltration.

Les surfaces libres à l'infiltration sont très limitées dans Paris *intra-muros* (squares et jardins publics, jardins privés, terrains de sports, cimetières = 700 ha environ, soit 8 % de la surface totale). Dans les communes de banlieue très construite, la proportion peut être estimée à 30 %.

En admettant que 15 % de la pluviométrie (totale 9,8 m³/s) s'infilte sur 40 % de la surface totale de la feuille de Paris, on peut estimer que les nappes souterraines reçoivent 0,6 m³/s d'eau de pluie.

Les puisards et les fuites d'ouvrages vétustes peuvent compenser localement ce manque à gagner.

Les nappes souterraines

Compte tenu de la position des niveaux imperméables et de l'épaisseur des différentes formations aquifères, on peut distinguer très schématiquement quatre nappes principales.

Nappe perchée des marnes vertes.

Sur les reliefs des environs immédiats de Paris, les eaux, circulant dans les sables de Fontainebleau et la formation de Brie, sont retenues par les marnes vertes, peu épaisses mais bien continues et imperméables, formant le mur de cette nappe perchée.

Autour de ces reliefs, cette nappe s'écoule par de nombreuses sources. L'aqueduc d'Arcueil amenait à Paris l'eau des sources captées à ce niveau au nord de Rungis. Sous le plateau de Meudon-Clamart, les sables de Fontainebleau sont aquifères dans leur partie inférieure. De nombreuses sources émergent autour de ce massif (exemples : fontaine Sainte-Marie dans le bois de Clamart, fontaine du Moulin au Plessis-Robinson). A Montmartre, les eaux d'infiltration, circulant dans le calcaire de Brie surtout, émergeaient sur le flanc nord de la colline alimentant un petit ruisseau qui suivait le tracé actuel de la rue de la Fontaine-du-But et de la rue du Ruisseau. Elles s'écoulaient maintenant en égout.

Cette nappe est également perchée sur la colline de Belleville-Lilas-Montreuil, dans le calcaire de Brie principalement. Les sources du Pré-Saint-Gervais et de Belleville (sources du nord), captées dès le moyen âge, ont alimenté pendant longtemps des fontaines dans Paris.

Nappe phréatique.

En relation étroite avec la Seine, elle intéresse tout d'abord les alluvions au fond de la vallée puis s'étend latéralement aux formations encaissantes : sables de Monceau, calcaire de Saint-Ouen, sables de Beauchamp et surtout calcaires lutétiens. En général, elle passe sous les collines coiffées par la nappe perchée des marnes vertes. Dans les grandes lignes, sa forme épouse donc la surface topographique, atténuant particulièrement les reliefs recouverts par les marnes vertes.

Les marnes et calcaires lutétiens, presque partout présents sous Paris et sa banlieue, constituent le réservoir principal de cette nappe. L'épaisseur mouillée varie avec la structure (par exemple : 20 m sous la place du Panthéon, 6 m sous l'Etoile). Sous les alluvions et les sables de Beauchamp aquifères, les eaux du Lutétien deviennent captives (dans la vallée et en zone synclinale). Sous les alluvions, de chaque côté de la Seine, la charge ascensionnelle n'est jamais très importante mais tout le réservoir lutétien est

plein d'eau, le niveau piézométrique s'équilibrant avec celui des eaux des alluvions, elles-mêmes en relation avec la Seine.

Sous les sables de Beauchamp, dans la zone synclinale, l'épaisseur mouillée du Lutétien varie entre 20 et 50 m. Les épaisseurs les plus importantes sont situées sous Montmartre, les Buttes-Chaumont, Blanc-Mesnil, Aubervilliers et La Courneuve. Dans cette zone, les niveaux piézométriques varient avec la profondeur de la prise de pression. On observe, en général, un abaissement progressif du niveau statique du sommet vers la base.

Nappe captive des sables yprésiens ou nappe du Soissonnais.

Partout où ils existent, c'est-à-dire dans Paris et tout autour sauf sur l'anticlinal de Meudon, ces sables sont aquifères. A proximité des rares affleurements, leur nappe est libre sur des petites surfaces et, à Auteuil et Passy, s'écoulent même par quelques sources jadis connues comme sources « minérales » (les eaux minérales d'Auteuil ont été les premières exploitées. En 1628, dans son *Récit véritable de leurs propriétés et vertus*, HABERT les décrivait comme « étant grandement apéritives et laxatives, désopilant le foie, les veines et la rate »). Ailleurs, leur nappe s'enfonce sous le Lutétien et devient captive. Elle est donc particulièrement épaisse en zone synclinale, sous les communes de Blanc-Mesnil, La Courneuve, Aubervilliers, Villeneuve-la-Garenne et Argenteuil (épaisseur des sables supérieure à 30 m). Les courbes isopièzes (fig. 4) indiquent une dépression centrée sur les communes industrielles de la banlieue nord, où certains niveaux relevés récemment se maintiennent à la cote zéro. Du quai des Tuileries au centre de cette dépression, le gradient est de 3‰ environ. Cette valeur est à peu près identique à la pente structurale du synclinal que cette dépression épouse sensiblement. La dépression provoquée par les pompages semble être favorisée par la structure tectonique.

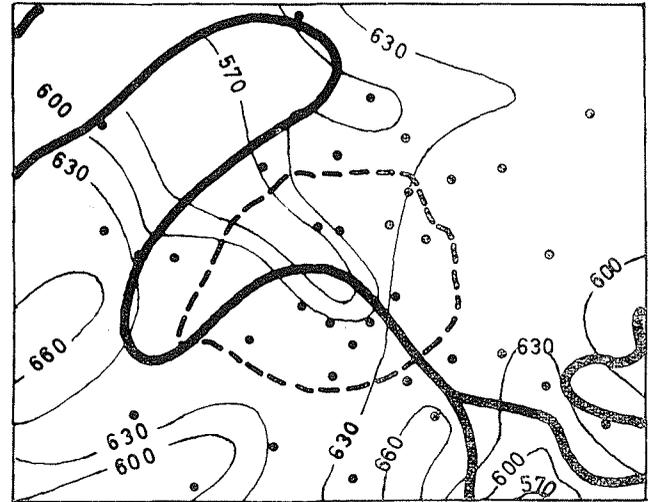
Cette nappe est alimentée par écoulement latéral, depuis le nord et l'est, par drainage des nappes supérieures et par infiltration d'eau de la Seine.

Nappe de l'Albien.

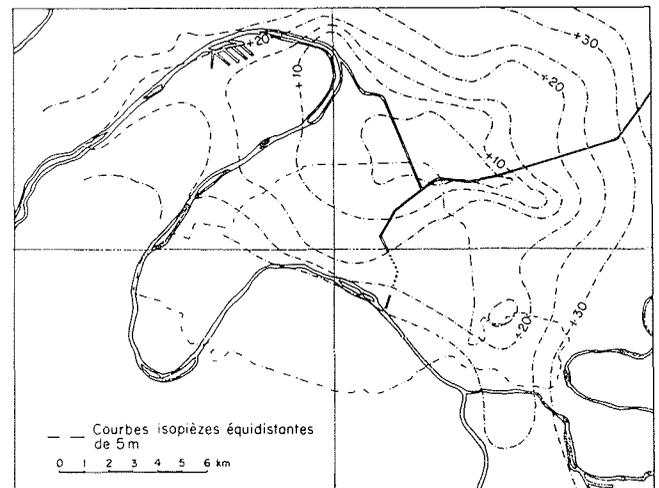
Cette nappe réputée peut être atteinte, sous n'importe quel quartier de Paris ou en banlieue, à une profondeur variant entre 450 m et 750 m suivant la position tectonique. Elle est contenue dans trois niveaux sableux (sables de Frecambault, des Drillons et sables verts). Les argiles du Gault et les marnes de Brienne lui forment un toit imperméable. Dans l'ensemble du Bassin de Paris, son écoulement est orienté vers l'ouest-nord-ouest, avec un axe de drainage correspondant à la vallée de la Seine. Mais, sous l'agglomération parisienne où les forages sont particulièrement nombreux, les courbes isopièzes se ferment, indiquant une dépression centrée sur la banlieue nord; les forages à l'Albien ne sont plus jaillissants.

Variations piézométriques.

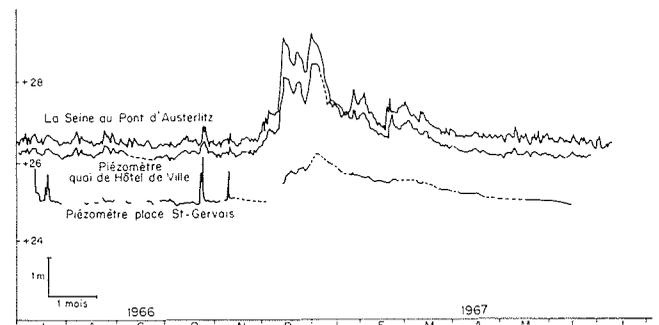
Les variations de niveau de ces nappes sont difficiles à déceler car elles sont masquées, presque partout, par l'influence des pompages. Sous ces variations artificielles, on peut cependant distinguer deux catégories de variations saisonnières : celles provoquées par les crues de la Seine et celles provoquées par la pluviométrie. Le retard dû à l'infiltration d'eaux de pluie semble être, suivant les nappes, de quelques semaines à six mois. A proximité de la Seine, la nappe phréatique est donc haute en hiver (fig. 5), tandis



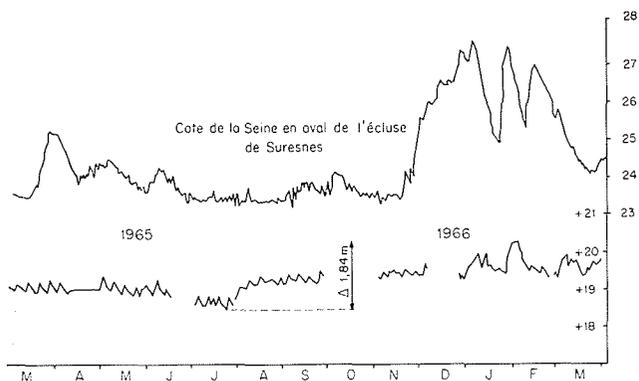
3/ Hauteurs annuelles moyennes des précipitations (1920-1949) d'après Grisolle (1958).



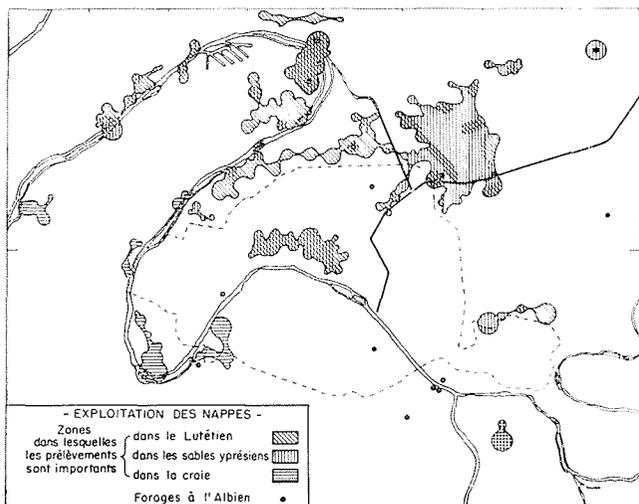
4/ Piézométrie de la nappe du Soissonnais.



5/ Variations piézométriques de la nappe phréatique dans le centre de Paris à proximité de la Seine, rive droite.



6/ Variations piézométriques saisonnières et artificielles. Nappe du Soissonnais, forage avenue de Wagram.



7/ Exploitation des nappes.

que, dans la banlieue sud par exemple, la crue souterraine semble se produire en été. Entre ces deux zones extrêmes à variations opposées, la nappe peut paraître très stable (exemple : puits des catacombes dont le niveau ne varie que de quelques centimètres).

Sur la rive droite, le niveau de la nappe du Soissonnais est influencé par les pompages (rythme hebdomadaire, remontée rapide durant les week-ends), mais la crue d'hiver de la Seine reste perceptible (fig. 6).

Propriétés physico-chimiques des eaux souterraines.

Les températures des eaux des nappes semi-profondes (20 à 80 m) sont en général comprises entre 12 et 11 °C. Elles sont souvent plus chaudes (15, 16, 17 et même 20 °C parfois). Ceci ne peut être dû au gradient géothermique (32 m à Carrières-sur-Seine), mais sans doute à l'effet urbain (+ 2 °C) et à des causes locales très variables (constructions souterraines, égouts, réinjection d'eaux parfois réchauffées). Le tableau 3 indique les valeurs médianes des principales données physico-chimiques des différentes nappes calculées sur cent soixante analyses.

La plupart de ces eaux sont carbonatées-calciques (ions prédominants HCO₃⁻ et Ca). Quelques-unes (Lutétien, Alluvions) sont sulfatées calciques.

Les teneurs élevées en SO₄ des nappes semi-profondes sont dues aux masses de gypse ludien et aux inclusions gypseuses très fréquentes dans toutes les autres formations tertiaires. La solubilité du SO₄Ca est de 2,016 g/l à 18 °C. Certaines analyses montrent que la saturation est presque atteinte.

On constate que les vides et effondrements, signalés au nord de Paris, sont localisés dans la zone où la nappe du Lutétien a particulièrement baissé depuis un siècle. Les vides semblent bien correspondre à une dissolution récente des gypses antéludiens par un accroissement de circulation des eaux souterraines.

Exploitation des nappes.

D'après les archives des sondeurs déposées au B.R.G.M. et les déclarations faites au Service des Mines, il a été

Tableau 3

	à 20 °C (ohm/cm)	pH	TH (degrés)	TAC (degrés)	SiO ₂ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)
Eaux des alluvions.....	950	7.2	80	26	10	320	37	690	—	—	—
Eaux de la craie sous les alluvions..	1 410	—	45	—	—	—	34	200	—	156	—
Eaux du Lutétien.....	690	7.2	85	33	20	400	55	600	2	245	57
Eaux des sables yprésiens.....	1 400	7.1	43	34	15	415	17	70	0	110	32
Eaux de la craie sous le tertiaire....	820	—	113	—	—	—	69	880	—	—	—
Eaux de l'Albien.....	—	—	10	—	—	160	9	12	—	28	8

effectué environ deux mille forages pour eau dans les limites de la feuille topographique de Paris depuis le début du XIX^e siècle.

Effectués par battage au trépan ou, de plus en plus, au rotary, ils ont en général entre 30 et 80 m de profondeur. Le décret-loi du 8 août 1935, sur la protection des eaux souterraines, a limité le nombre de ceux qui dépassent 80 m pour atteindre la nappe de l'Albien (25 forages) ou de l'Yprésien (56 en état d'exploitation actuellement) et parfois de la craie. Ces ouvrages sont généralement crépinés sur 10, 20 ou 30 m de hauteur, les crépines ayant entre 200 et 500 mm de diamètre. D'après les enquêtes que nous avons faites auprès des propriétaires, 514, soit le quart environ de ces forages, sont actuellement en état d'exploitation (fig. 7). Une grande partie d'entre eux captent plusieurs nappes simultanément ce qui est bien regrettable pour les mélanges que cela provoque à la longue (en particulier, pollution de la nappe du Soissonnais par les eaux du Lutétien beaucoup plus dures). Les plus forts débits obtenus aux essais ont été : 370 m³/h pour un rabattement de 5,5 m dans le Lutétien à Saint-Denis et 236 m³/h pour un rabattement de 17 m dans l'Yprésien à Epinay-sur-Seine.

Ces deux forages sont situés dans la fosse de Saint-Denis. Dans cette région, pour satisfaire les besoins importants de l'alimentation publique et de grosses industries, des débits élevés sont obtenus facilement par des forages exécutés suivant de bonnes techniques.

D'après une enquête faite auprès des utilisateurs de forage, le volume total prélevé annuellement (1965-1968) atteint 108 216 900 m³ soit plus de 300 000 m³ par jour.

La répartition par réservoir est la suivante :

— Eaux du Lutétien.	36 218 000 m ³ /an
— Eaux de l'Yprésien.	33 099 000 —
— Eaux de la craie (sous alluvions).	19 951 000 —
— Eaux de l'Albien.	13 802 000 —
— Eaux des alluvions.	3 074 000 —

Près de la moitié du volume capté sous l'agglomération parisienne est utilisée comme eau potable. Le reste est utilisé surtout pour des échanges thermiques : refroidissement, réfrigération et climatisation.

Abaissement des niveaux statiques.

DELESSE avait dressé une carte hydrologique du département de la Seine en 1854. Si l'on compare les niveaux de la nappe phréatique de cette carte aux niveaux actuels, on remarque que dans certains quartiers l'abaissement a dépassé 10 m.

Lors de l'exécution des premiers forages aux sables yprésiens, au début du XIX^e siècle, le niveau piézométrique de cette nappe s'établissait entre les altitudes + 40 et + 50. Actuellement, on constate que, dans la banlieue nord, les cotes sont souvent inférieures à + 5 sous les communes de Saint-Denis et d'Aubervilliers.

Sur les forages à l'Albien exécutés depuis 1841, on constate une diminution des débits artésiens et un abaisse-

ment du niveau piézométrique également. Il atteignait près de 2 m par an en 1933 et 1941, mais s'est stabilisé depuis 1945 à 0,7 m par an en moyenne.

En ce qui concerne les nappes semi-profondes et superficielles, l'exploitation par les forages n'est pas la seule cause de ce phénomène; l'influence de la réduction de l'infiltration des eaux météoriques et les exhaures consécutives à certains ouvrages souterrains ne sont pas négligeables. Dans le quartier de l'Opéra, on peut estimer l'abaissement moyen à 13 cm par an entre 1860 et 1960 et 1 m par an depuis 1960. Dans la fosse de Saint-Denis, l'abaissement moyen annuel serait de 1,20 m entre 1960 et 1965 pour les eaux du Lutétien et de l'Yprésien. Pour la nappe phréatique, cette baisse est plutôt un bienfait pour les travaux souterrains en cours mais, au niveau des sables yprésiens, les conséquences peuvent être beaucoup plus fâcheuses, la nappe captive pouvant bientôt devenir libre.

Conclusions

Le dépouillement de l'abondante documentation existant sur les forages et sondages a permis de représenter l'état moyen des nappes en 1965, en dessinant les courbes isopièzes de trois nappes semi-profondes distinctes : nappe perchée des marnes vertes, nappe phréatique (ou nappe libre générale) et nappe captive des sables yprésiens.

L'exploitation intense de ce système multicouche de terrains aquifères, de propriétés hydrodynamiques équivalentes, a accentué les différences de pression entre ces nappes qui conservent, cependant, des relations importantes. A l'intérieur de chaque couche, la perméabilité horizontale est bien supérieure à la perméabilité verticale, aussi, malgré la drainance, les caractéristiques chimiques restent propres à chaque niveau.

Dans cet ensemble, le calcaire grossier et les sables du Soissonnais constituent un réservoir considérable exploité depuis plus d'un siècle; il fournit actuellement près de 200 000 m³/jour pour l'alimentation publique et les industries.

Cette réserve est malheureusement surexploitée; il semble, qu'à ce régime, l'abaissement aille jusqu'à provoquer le dénoyage des sables yprésiens dans la fosse de Saint-Denis, d'ici quelques dizaines d'années.

Les études sur la réalimentation devraient être poursuivies et des essais pratiques devraient être réalisés sans plus tarder.

Un dragage profond du lit de la Seine en période de hautes eaux, dans la partie de son cours situé sur le Lutétien et les sables yprésiens, pourrait, sans doute, augmenter dans des proportions intéressantes l'infiltration qui se produit déjà d'elle-même.

Une forte proportion (36 %) des eaux souterraines étant prélevées pour des échanges thermiques (climatisation, refroidissement), il serait utile de poursuivre les essais de réinjection (doublets hydrauliques de refroidissement).