

LES BASSINS DE LA SEINE

COURS D'EAU NORMANDS

RESSOURCES D'EAU
ET DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Le fascicule 4 - eaux souveraines

Commission Déléguée du Bassin Seine-Normandie
Bureau Financier du Bassin Seine-Normandie

Pandon.

LES BASSINS DE LA SEINE ET DES COURS D'EAU NORMANDS

TOME 1

RESSOURCES D'EAU ET DONNÉES HYDROLOGIQUES

fascicule 4 - eaux souterraines

Mission Déléguée de Bassin Seine-Normandie
Agence Financière de Bassin Seine-Normandie

AESN



DOC-001041

TABLE DES MATIÈRES

TABLE OF CONTENTS

	Pages
Introduction — Objet de l'ouvrage. <i>Introduction — Subject of the study</i>	15
1. Évolution des concepts et des connaissances sur les eaux souterraines. <i>The development of concepts and knowledge relating to underground water</i>	17
1.1. Époque romaine et Moyen Age. <i>The Roman era and Middle Ages</i>	17
1.2. Naissance de la pensée moderne en hydrogéologie (xvi ^e et xvii ^e siècles). <i>The birth of modern hydrogeological enquiries (XVIth and XVIIth Centuries)</i>	17
1.3. Origine de l'exploitation des eaux souterraines profondes par forages (xviii ^e et xix ^e siècles). <i>The first attempts to tap deep-lying underground water by drilling (XVIIIth and XIXth Centuries)</i>	18
1.4. Développement de l'hydrogéologie moderne (xix ^e et xx ^e siècles). <i>The development of modern hydrogeology (XIXth and XXth Centuries)</i>	18
1.5. Travaux récents. Évaluation des ressources en eau. <i>Recent work. Assessment of water resources</i>	18
2. Caractères hydrogéologiques généraux. <i>General hydrogeological features</i>	20
2.1. Cadre géographique : dimensions, limites. <i>The geographical framework : size and limits</i>	20
2.2. Structure hydrogéologique générale. <i>The general hydrogeological structure</i>	20
2.3. Répartition verticale des eaux souterraines. Principaux aquifères. <i>The vertical distribution of underground water. The main aquiferous strata</i>	20
2.4. Relations et interdépendances des eaux de surface et des eaux souterraines. <i>Relationship and interdependence between surface water and underground water</i>	26
2.5. Régime de l'écoulement des eaux souterraines. <i>Rate of flow of underground water</i>	27
2.6. Extension spatiale des aquifères. Structures et zones hydrogéologiques. <i>The spatial extension of aquiferous strata. Hydrogeological structures and areas</i>	27
3. Aquifères du Jurassique inférieur (Lias) de Basse-Bourgogne et du Bassigny. <i>Lower Jurassic aquiferous strata (Lias) in Lower-Burgundy and Bassigny</i>	30
3.1. Cadre hydrogéologique général du Jurassique de Basse-Bourgogne et de Champagne. <i>The general hydrogeological framework of the Jurassic strata of Lower-Burgundy and Champagne</i>	30
3.2. Formation complexe argilo-calcaire du Lias du Bazois, de la Terre-Plaine, de l'Auxois et du Bassigny. <i>The complex calcareo-argillaceous formation of the Lias in the Bazois, Terre-Plaine, Auxois and Bassigny areas</i>	30
4. Aquifère calcaire karstique multicouche du Jurassique moyen (Dogger) et supérieur (Malm) de Basse-Bourgogne et du Barrois. <i>Middle Jurassic (Dogger) and upper Jurassic (Malm) multi-layer karstic calcareous aquiferous strata in the Lower-Burgundy and Barrois areas</i>	34

	Pages
4.1. Cadre général. <i>General framework</i>	34
4.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	34
4.3. Considérations générales sur l'aquifère calcaire karstique du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois. <i>General remarks on the karstic calcareous aquiferous strata of the middle and upper Jurassic periods in the Lower-Burgundy and Barrois areas.</i>	40
4.4. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics.</i>	40
4.5. Sources et résurgences. <i>Sources and points of re-emergence</i>	41
4.6. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	42
4.7. Captage des eaux souterraines. <i>Catchment of underground water</i>	42
4.8. Essai de bilan. <i>Tentative balance-sheet</i>	43
4.9. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	43
4.10. Alimentation naturelle. <i>Natural supply</i>	43
5. Aquifère calcaire karstique du Jurassique supérieur (Malm) de Lorraine. <i>Upper Jurassic (Malm) karstic calcareous aquiferous strata of Lorraine</i>	46
5.1. Cadre général. <i>General framework.</i>	46
5.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	46
5.3. Hydrogéologie. <i>Hydrogeology</i>	46
5.4. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	48
6. Aquifère calcaire karstique multicouche du Jurassique moyen (Dogger) de Basse-Normandie. <i>Middle Jurassic (Dogger) multi-layer karstic calcareous aquiferous strata of Lower-Normandy</i>	49
6.1. Cadre général. <i>General framework</i>	49
6.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	50
6.3. Hydrogéologie. <i>Hydrogeology</i>	50
6.4. Piézométrie et fluctuations de la surface piézométrique. <i>Piezometry and fluctuations of the piezometric surface</i>	51
6.5. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics</i>	52
6.6. Sources. <i>Sources</i>	52
6.7. Captages. <i>Catchment</i>	52
6.8. Prélèvements. <i>Water drawn off</i>	52
6.9. Essai de bilan. <i>Tentative balance-sheet</i>	52
6.10. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	52
7. Aquifère multicouche du Néocomien-Barrémien. <i>Multi-layer aquiferous strata of the Néocomien-Barrémien area</i>	53
7.1. Généralités sur les formations du Crétacé inférieur. <i>General remarks on lower cretaceous formations</i>	53
7.2. Hydrologie générale et aquifères du Néocomien-Barrémien. <i>General hydrology and aquiferous strata of the Néocomien-Barrémien area</i>	54
8. Aquifère multicouche de l'Albien. <i>The multi-layer aquiferous strata of Albien</i>	58
8.1. Cadre général. <i>General framework</i>	58
8.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	58
8.3. Description structurale sommaire. <i>Brief structural description</i>	62
8.4. Caractères généraux de la formation multicouche albienne. <i>General features of the multi-layer formation of Albien</i>	64

	Pages
8.5. Principaux aquifères. <i>Main aquiferous strata</i>	64
8.6. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics</i>	64
8.7. Piézométrie. État actuel et évolution. <i>Piezometry. The present state and development</i>	65
8.7.1. État actuel de la surface piézométrique. <i>Present state of the piezometric surface</i>	66
8.7.2. Évolution de la surface piézométrique. <i>Development of the piezometric surface</i>	69
8.8. Captages et données sur les prélèvements et leur évolution. <i>Catchment and data on water drawn off. Trends</i>	69
8.9. Hydrochimie. <i>Hydrochemistry</i>	71
8.9.1. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	71
8.9.2. Étude des radioisotopes naturels. Carbone 14 et Tritium. <i>Study of natural radioisotopes. Carbon 14 and Tritium</i>	74
8.10. Éléments du bilan. <i>Outline balance-sheet</i>	76
8.11. Conclusions. <i>Conclusions</i>	78
9. Aquifère de la Craie. <i>Chalk aquiferous strata</i>	79
9.1. Caractères généraux de l'aquifère de la Craie. <i>General features of Chalk aquiferous strata</i>	79
9.2. Aquifère de la Craie en Gâtinais-Sénonais. <i>Chalk aquiferous strata in the Gâtinais-Sénonais area</i>	84
9.2.1. Cadre général. <i>General framework</i>	84
9.2.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	85
9.2.3. Description structurale sommaire. <i>Brief structural description</i>	86
9.2.4. Considérations générales sur l'aquifère de la Craie dans le Gâtinais-Sénonais. <i>General remarks on the Chalk aquiferous strata of the Gâtinais-Sénonais area</i>	86
9.2.5. Sources et régime des sources. <i>Sources and flow of sources</i>	86
9.2.6. Piézométrie. Morphologie de la surface piézométrique. <i>Piezometry. Morphology of the piezometric surface</i>	87
9.2.7. Captages. <i>Catchment</i>	87
9.2.8. Bilan des eaux souterraines. <i>Underground water balance-sheet</i>	88
9.2.9. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	88
9.2.10. Alimentation naturelle et régulation. <i>Natural supply and regulation</i>	89
9.3. Aquifère de la Craie de Champagne. <i>Chalk aquiferous strata in Champagne</i>	90
9.3.1. Cadre général. <i>General framework</i>	90
9.3.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	90
9.3.3. Sources et régime des sources. <i>Sources and flow of sources</i>	90
9.3.4. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	92
9.3.5. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	93
9.4. Aquifère de la Craie de Picardie-Normandie. <i>Chalk aquiferous strata in Picardie-Normandy</i>	93
9.4.1. Cadre général. <i>General framework</i>	93
9.4.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i>	93
9.4.3. Sources et régime des sources. <i>Sources and flow of sources</i>	95
9.4.4. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	98
9.4.5. Captages. <i>Catchment</i>	98
9.4.6. Prélèvements. <i>Water drawn off</i>	98
9.4.7. Bilan. <i>Balance-sheet</i>	98
9.4.8. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	99
9.5. Aquifère de la Craie de l'Ile-de-France. <i>Chalk aquiferous strata in Ile-de-France</i>	99

	Pages
10. Généralités sur les aquifères multicouches du Tertiaire. <i>General remarks on aquiferous strata of the Tertiary period</i>	100
10.1. Cadre général. <i>General framework</i>	100
10.2. Principaux aquifères multicouches. <i>Main multi-layer aquiferous strata</i> . .	102
10.3. Extension géographique des aquifères. Grandes zones hydrogéologiques. <i>Geographical extension of aquiferous strata. Main hydrogeological areas</i> .	103
11. Aquifère multicouche de l'Éocène inférieur et moyen : Sables de Bracheux, Sables du Soissonnais et Calcaire grossier. <i>Multi-layer aquiferous strata of the lower and middle Eocene periods : the Bracheux Sands, the Soissonnais Sands and rough Limestone</i>	105
11.1. Cadre général. <i>General framework</i>	105
11.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i> . .	107
11.3. Description structurale sommaire. <i>Brief structural description</i>	109
11.4. Description des aquifères. <i>Description of aquiferous strata</i>	110
11.5. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics</i> . .	111
11.6. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	111
11.7. Captages. <i>Catchment</i>	113
11.8. Prélèvements par pompage. <i>Water drawn off by pumping</i>	113
11.9. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	113
11.10. Conclusions. <i>Conclusions</i>	114
12. Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny. Zone hydrogéologique de la Brie. <i>Limestone multi-layer aquiferous strata at Champigny. The hydrogeological area of Brie</i>	115
12.1. Cadre général. <i>General framework</i>	115
12.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i> . . .	116
12.3. Caractères généraux de la formation aquifère multicouche du Calcaire de Champigny. <i>General features of the Limestone multi-layer aquiferous formation at Champigny</i>	118
12.4. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics</i> . . .	120
12.5. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	120
12.6. Captages et prélèvements. <i>Catchment and water drawn off</i>	121
12.7. Essais de bilan des eaux souterraines. <i>Tentative underground water balance-sheet</i>	122
12.8. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	122
12.9. Conclusions. <i>Conclusions</i>	123
13. Aquifère multicouche de l'Oligocène du Calcaire de Brie, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce. <i>Multi-layer aquiferous strata of the Oligocene period in Brie Limestone, in Fontainebleau Sands and in Limestone of Beauce</i>	124
13.1. Cadre général. <i>General framework</i>	124
13.2. Description sommaire du réservoir. <i>Brief description of the reservoir</i> . . .	124
13.3. Caractères généraux de la formation aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce. <i>General features of the multilayer aquiferous formation in Fontainebleau Sands and in Limestone of Beauce.</i>	128
13.4. Caractéristiques hydrogéologiques. <i>Hydrogeological characteristics</i> . . .	128
13.5. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	129
13.6. Sources et captages. <i>Sources and catchment</i>	129
13.7. Prélèvements. <i>Water drawn off</i>	130

	Pages
13.8. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	130
14. Aquifère des alluvions. <i>Alluvial aquiferous strata</i>	132
14.1. Cadre général. <i>General framework</i>	132
14.2. Description sommaire des formations alluviales. <i>Brief description of alluvial formations</i>	132
14.3. Structure hydrogéologique. Relations alluvions-aquifère du substratum et communications rivière-nappe. <i>Hydrogeological structure. Relationship between alluvia and aquiferous strata in the substratum and communications between river and water-table</i>	133
14.4. Hydrogéologie. Principaux aquifères. <i>Hydrogeology. Main aquiferous strata</i>	135
14.5. Aquifères complexes alluvions-substratum perméable. <i>Complexes aquiferous strata in alluvium-permeable substratum</i>	135
14.6. Piézométrie. <i>Piezometry</i>	138
14.7. Relations hydrauliques entre l'aquifère des alluvions et la rivière. <i>Hydraulic relationship between alluvial aquiferous strata and the river</i>	138
14.8. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines. <i>Physical and chemical qualities of underground water</i>	140
15. Conclusions générales. <i>General conclusions</i>	141
15.1. Régime des eaux souterraines du bassin sédimentaire de Paris. <i>Flow of underground water in the sedimentary basin of Paris</i>	141
15.2. Comparaison des prélèvements et des ressources potentielles en eaux souterraines de la région parisienne. <i>Comparison of water drawn off and potential underground water resources in the Paris area</i>	142
Lexique. <i>Lexicon</i>	145
Liste des symboles utilisés. <i>List of symbols</i>	152
Index géographique. <i>Geographical index</i>	153
Bibliographie. <i>Bibliography</i>	156

Couverture :

- Le puits artésien de Grenelle (Photo Archives nationales) foré dans l'Albien atteint en 1841. L'artésianisme est d'environ 30 m. Gravure de l'époque.
- L'Aiguille à Étretat (Photo A. Perceval). Falaise du Pays de Caux dans la Craie de Normandie. La stratification est soulignée par des assises à rognons de silex.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 2.1. — Grandes formations et aquifères multicouches du bassin Seine-Normandie	22
Tableau 2.2. — Coupes schématiques des forages de la Grande Paroisse et de la Maison de l'O. R. T. F., quai Kennedy à Paris	24
Tableau 2.3. — Eaux souterraines du Bathonien profond du bassin de Paris	25
Tableau 3.1. — Lithostratigraphie du Jurassique inférieur (Lias), de la Terre-Plaine, de l'Auxois et du Bassigny	32
Tableau 3.2. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de la formation complexe argilo-calcaire du Trias et du Lias de la Terre-Plaine	33
Tableau 4.1. — Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne : Nivernais et Auxerrois. Région des faciès marno-calcaires de l'Oxfordien supérieur	37
Tableau 4.2. — Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen et supérieur du Châtillonnais et du Barrois. Région des faciès calcaires récifaux de l'Oxfordien supérieur	37
Tableau 4.3. — Aquifères du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois	40
Tableau 4.4. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère calcaire karstique du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois	45
Tableau 5.1. — Lithostratigraphie sommaire du Jurassique supérieur de Lorraine	46
Tableau 6.1. — Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen de Basse-Normandie	51
Tableau 6.2. — Bilan du bassin de la Mue	52
Tableau 7.1. — Lithostratigraphie du Crétacé inférieur du bassin de Paris	54
Tableau 8.1. — Lithostratigraphie sommaire de l'Albien du bassin de Paris	58
Tableau 8.2. — Données sur les prélèvements dans l'aquifère albien de la région parisienne	70
Tableau 8.3. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien	72
Tableau 8.4. — Données piézométriques sur les sondages profonds de la zone captive de l'aquifère de l'Albien de Puisaye	76
Tableau 8.5. — Données d'hydrochimie isotopique sur les eaux souterraines de l'aquifère de l'Albien en Puisaye	76
Tableau 8.6. — Bilan des eaux souterraines de l'aquifère de l'Albien (1965).	78
Tableau 9.1. — Porosités totale et efficace de la Craie du Sénonais (bassin de la Vanne) en % mesurées sur échantillons (microfissuration)	81
Tableau 9.2. — Tableau de correspondance entre l'amplitude des variations de la surface piézométrique et les coefficients d'emmagasinement, en Champagne.	82
Tableau 9.3. — Lithostratigraphie du Crétacé supérieur du Gâtinais-Sénonais (Sud et SE du bassin de la Seine)	85
Tableau 9.4. — Bilan des eaux souterraines du bassin de la Vanne : source de Cochepies et sources Hautes. Période 1952-1964.	86
Tableau 9.5. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère de la Craie	89

	Pages
Tableau 9.6. — Lithostratigraphie du Crétacé supérieur en Champagne (Est du bassin de la Seine)	90
Tableau 9.7. — Lithostratigraphie du Crétacé supérieur de Picardie (Nord de la vallée de la Bresle)	93
Tableau 9.8. — Lithostratigraphie du Crétacé supérieur de Haute-Normandie . .	94
Tableau 9.9. — Bilans hydrologiques de quatre bassins versants de Picardie-Normandie. Moyenne sur la période 1963-1967	98
Tableau 10.1. — Lithostratigraphie et grandes formations aquifères du Tertiaire du bassin de Paris	101
Tableau 10.2. — Grandes formations, grands aquifères multicouches et zones hydrogéologiques du Tertiaire du bassin de Paris	102
Tableau 11.1. — Lithostratigraphie de l'Éocène inférieur et moyen du Vexin-Parisis-Valois-Soissonnais-Laonnois	106
Tableau 11.2. — Caractéristiques hydrogéologiques de l'Éocène inférieur et moyen du bassin de Paris	110
Tableau 11.3. — Moyenne des débits obtenus au cours d'essais (en m ³ /h)	113
Tableau 11.4. — Prélèvements dans l'aquifère des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier pour 1965 (m ³ /j).	113
Tableau 11.5. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère complexe des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier. Provinces hydrochimiques	114
Tableau 12.1. — Lithostratigraphie de l'Éocène supérieur	116
Tableau 12.2. — Caractéristiques hydrogéologiques de l'Éocène supérieur . . .	118
Tableau 12.3. — Données sur les prélèvements dans l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny pour l'année 1965	121
Tableau 12.4. — Bilan annuel moyen du bassin hydrogéologique des sources de Provins dans le Calcaire de Champigny. Période 1950-1964	122
Tableau 12.5. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère complexe du Calcaire de Champigny. Provinces hydrochimiques	123
Tableau 13.1. — Description lithostratigraphique sommaire de l'Oligocène . . .	124
Tableau 13.2. — Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères de la Beauce	128
Tableau 13.3. — Valeurs des transmissivités en 10 ⁻² m ² /s	129
Tableau 13.4. — Données sur les prélèvements dans l'aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce	130
Tableau 13.5. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce. Provinces hydrochimiques	131
Tableau 14.1. — Données sur les relations nappe-rivière sur la rive droite de la Seine, dans Paris	139
Tableau 14.2. — Données sur les relations nappe-rivière sur la rive gauche de la Seine, à la Défense	140
Tableau 14.3. — Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère des alluvions	140
Tableau 15.1. — Prélèvements et utilisations des eaux souterraines dans la région parisienne par zones géologiques (enquête 1965)	143
Tableau 15.2. — Prélèvements et utilisations des eaux souterraines dans la région parisienne pour les cinq principaux aquifères multicouches (enquête 1965) . .	143
Tableau 15.3. — Estimation des débits moyens de l'écoulement souterrain dans les cinq grands aquifères multicouches de la région parisienne	144
Tableau 15.4. — Caractéristiques hydrogéochimiques moyennes des cinq principaux aquifères multicouches de la région parisienne.	144

TABLE DES FIGURES

	Pages
Figure 1.1. — L'Aqueduc d'Arcueil, près de Paris	17
Figure 2.1. — Schéma de la structure hydrogéologique générale du bassin de Paris	21
Figure 2.2. — Coupe générale transversale du bassin de Paris	25
Figure 2.3. — Localisation des zones hydrogéologiques étudiées dans le texte . .	26
Figure 2.4. — Schéma explicatif d'une variation latérale de faciès	27
Figure 2.5. — Schéma explicatif d'une discontinuité de sédimentation accompagnée d'une lacune de dépôts et son rôle hydrogéologique	28
Figure 2.6. — Schéma représentatif d'une discordance et de son rôle hydrogéologique	28
Figure 2.7. — Schéma explicatif d'une faille et de son rôle hydrogéologique . .	28
Figure 3.1. — Carte schématique de la répartition des formations du Jurassique inférieur et du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois.	31
Figure 3.2. — Formations géologiques et roches-réservoirs de la Terre-Plaine . .	32
Figure 3.3. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Trias et du Lias	33
Figure 4.1. — Schéma géomorphologique de la Basse-Bourgogne montrant l'influence des formations calcaires	35
Figure 4.2. — Auréole des affleurements du Jurassique entre Saône et Seine . . .	36
Figure 4.3. — Vallée de la Cure — Grottes d'Arcy	38
Figure 4.4. — Succession des formations géologiques, du Morvan à la Forêt d'Othe	38
Figure 4.5. — Succession des formations géologiques du Jurassique et du Crétacé de Basse-Bourgogne, du Barrois et de Champagne	39
Figure 4.6. — Carte schématique des zones lithologiques du réservoir de l'Oxfordien et principales circulations karstiques	42
Figure 4.7. — Schéma des formations lithologiques du réservoir à l'Oxfordien supérieur. Passage latéral de faciès des calcaires massifs récifaux au S.SW à l'alternance de marnes et de calcaires au N.NW	43
Figure 4.8. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Jurassique moyen de Basse-Bourgogne	44
Figure 4.9. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Jurassique supérieur de Basse-Bourgogne	44
Figure 5.1. — Carte schématique de la répartition des formations du Jurassique supérieur et du Crétacé de Lorraine	47
Figure 5.2. — Succession des formations géologiques du socle des Ardennes vers le centre du bassin de Paris	48
Figure 5.3. — Principales formations et roches-réservoirs du Jurassique de Lorraine	48
Figure 6.1. — Carte schématique de la répartition des formations géologiques de Picardie-Normandie	49
Figure 6.2. — Succession des formations géologiques, du socle du Cotentin à la Basse-Normandie	50
Figure 7.1. — Coupe transversale schématique du bassin de Paris représentant la structure du réservoir au Crétacé inférieur	53
Figure 7.2. — Profondeur et formations géologiques de la surface d'érosion anté-crétacée, formant le substratum des aquifères du Crétacé inférieur	55

	Pages
Figure 7.3. — Succession type des formations lithologiques du Crétacé inférieur	56
Figure 7.4. — Aquifère multicouche de base du Crétacé inférieur (Néocomien). Nature et épaisseur du réservoir	57
Figure 7.5. — Formation aquifère multicouche barrémienne (Barrémien supérieur). Nature et épaisseur du réservoir	57
Figure 8.1. — Carte schématique du substratum anté-albien dans la Basse-Seine et le Pays de Caux	59
Figure 8.2. — Constitution lithostratigraphique détaillée du Crétacé inférieur. Sondage de Brion I	60
Figure 8.3. — Formation argilo-sableuse inférieure des Sables verts (Albien) . .	61
Figure 8.4. — Formation argilo-sableuse des Sables de Frécambault (Albien) . .	61
Figure 8.5. — La Champagne humide : la plaine de la Woëvre	62
Figure 8.6. — Structure de la formation albienne	63
Figure 8.7. — Structure de l'anticlinal du Pays de Bray	63
Figure 8.8. — Courbes granulométriques des Sables albiens	64
Figure 8.9. — Représentation graphique des données du pompage d'essais dans l'aquifère albien au sondage d'Ivry-sur-Seine	65
Figure 8.10. — Carte schématique de la répartition de la transmissivité de l'aquifère multicouche de l'Albien	66
Figure 8.11. — Caractéristiques principales du réservoir et carte piézométrique de l'aquifère multicouche de l'Albien	67
Figure 8.12. — Dépression piézométrique de la région parisienne due à la sur- exploitation	68
Figure 8.13. — Abaissement de la surface piézométrique de l'aquifère multi- couche albien de 1841 à 1970	69
Figure 8.14. — Baisse du niveau piézométrique dans la région parisienne en fonc- tion de l'augmentation du débit global annuel exploité	70
Figure 8.15. — Évolution des faciès chimiques des eaux de l'Albien, d'Est en Ouest. Diagrammes trilineaires	71
Figure 8.16. — Diagrammes logarithmiques de la composition chimique des eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien	73
Figure 8.17. — Évolution des faciès chimiques des eaux de l'Albien, d'Est en Ouest	73
Figure 8.18. — Carte schématique des courbes d'isradioactivité du Carbone 14 dans les eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien	74
Figure 8.19. — Région des affleurements de la formation albienne sur la bordure orientale du bassin de Paris en Puisaye	75
Figure 8.20. — Coupe transversale montrant le régime de l'écoulement des eaux souterraines en Puisaye	77
Figure 9.1. — Zones hydrogéologiques de l'aquifère de la Craie dans la bordure est du bassin de Paris	80
Figure 9.2. — Fissuration de la Craie	81
Figure 9.3. — Schéma des formations aquifères de la Craie	82
Figure 9.4. — Représentation graphique d'un pompage d'essai dans l'aquifère de la Craie	83
Figure 9.5. — Succession des formations géologiques du plateau d'Othe (bassin de la Vanne)	86
Figure 9.6. — Courbe de tarissement des sources de la Vanne	87
Figure 9.7. — Galerie de captage	87
Figure 9.8. — Arcades de Pont-sur-Yonne. Adduction des eaux de la Vanne . . .	88
Figure 9.9. — Relations entre la résistivité des eaux souterraines et les précipi- tations. Bassin de la Vanne : Source de Noë (1958)	89
Figure 9.10. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Crétacé supérieur de la Puisaye orientale et des sources du bassin de la Vanne	90
Figure 9.11. — La Champagne crayeuse	91

	Pages
Figure 9.12. — Carte schématique de la répartition des affleurements de Craie et des formations de l'Éocène inférieur dans le Nord-Ouest du bassin Seine-Normandie	92
Figure 9.13. — Succession des formations géologiques de la région de Rouen au Pays de Bray	94
Figure 9.14. — La vallée de l'Oise à Champagne-sur-Oise	95
Figure 9.15. — La falaise normande à Étretat	96
Figure 9.16. — Vues verticales le long de la falaise de Normandie	97
Figure 10.1. — Carte géomorphologique schématique de la région parisienne . .	100
Figure 10.2. — Succession N.NE-S.SW des formations géologiques et des plates-formes structurales de la région parisienne, de l'Oise (Compiègne) vers la Loire (Orléans). Principaux aquifères multicouches	102
Figure 10.3. — Carte schématique des grandes zones hydrogéologiques et des principaux aquifères multicouches du Tertiaire de la région parisienne	103
Figure 10.4. — Le rebord du plateau de Beauce	104
Figure 10.5. — La Forêt de Fontainebleau	104
Figure 11.1. — Carte schématique de la répartition des aquifères de l'Éocène inférieur et moyen, dans le Nord de la région parisienne	105
Figure 11.2. — Succession des formations géologiques et aquifères dans le Laonnois	106
Figure 11.3. — Courbes granulométriques des Sables du Soissonnais	107
Figure 11.4. — Aquifère multicouche des Sables de Bracheux et des Sables du Soissonnais	107
Figure 11.5. — Formation du Calcaire grossier. Lithostratigraphie et structure de la roche-réservoir. Relation avec la composition chimique des eaux souterraines. Provinces hydrogéo-chimiques	108
Figure 11.6. — Aquifère du Calcaire grossier. Puissance et exploitation de l'aquifère	109
Figure 11.7. — Dépression de la surface piézométrique de l'aquifère de l'Éocène inférieur et moyen au Nord de Paris (Saint-Denis—Pantin—Aubervilliers) . .	112
Figure 11.8. — Diagramme d'analyses chimiques des eaux de l'aquifère multicouche	113
Figure 12.1. — Zone hydrogéologique de la Brie avec localisation de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny	115
Figure 12.2. — Bloc diagramme schématique représentant la succession des formations géologiques sous la Brie, constituant le réservoir de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny	116
Figure 12.3. — Carrière de gypse à Cormeilles-en-Parisis	117
Figure 12.4. — Formation du Calcaire de Champigny (Ludien moyen)	119
Figure 12.5. — Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny. Caractéristiques de l'aquifère	120
Figure 12.6. — Source du Dragon	121
Figure 12.7. — Captage de la Voulzie	122
Figure 12.8. — Diagrammes d'analyses d'eau	122
Figure 13.1. — Aquifère multicouche de l'Oligocène. Géologie et extension des formations du réservoir	125
Figure 13.2. — Bloc diagramme schématique représentant la succession des formations géologiques constituant le réservoir de l'aquifère multicouche de l'Oligocène	125
Figure 13.3. — Formation du Calcaire de Brie. Lithologie du réservoir	126
Figure 13.4. — Aquifère multicouche de l'Oligocène. Ressources en eau	127
Figure 13.5. — Diagrammes d'analyses d'eau de l'Oligocène	130
Figure 14.1. — Coupe transversale idéale schématique d'une vallée montrant la position des formations alluviales. Schéma d'une nappe perchée	132
Figure 14.2. — Structure hydrogéologique des alluvions et lithologie du substratum	133

	Pages
Figure 14.3. — Schéma montrant la géomorphologie du substratum de Craie dans la vallée de la Seine	134
Figure 14.4. — Position du substratum et communications rivière-aquifère des alluvions	134
Figure 14.5. — Schéma de la réalimentation induite	135
Figure 14.6. — Puits de captage dans la vallée de la Seine à l'amont de Montereau	136
Figure 14.7. — Les nappes alluviales dans la Basse-Seine	137
Figure 14.8. — Relations hydrauliques entre les alluvions et la rivière	139
Figure 14.9. — Diagrammes des analyses chimiques des eaux de l'aquifère multicouche des alluvions	140
Figure 15.1. — Schéma des grands aquifères multicouches du bassin de Paris, sur une section transversale, sensiblement Est-Ouest	141
Figure 15.2. — Pourcentage des prélèvements d'eaux souterraines de chaque zone hydrogéologique par rapport aux prélèvements de l'ensemble de la région parisienne (1965)	142
Figure L.1. — Caractéristiques des aquifères. Aquifère libre et aquifère captif. Coefficient d'emmagasinement	145
Figure L.2. — Définition des types de plis	147
Figure L.3. — Définition de la porosité efficace	147
Figure L.4. — Représentation du réseau d'écoulement en plan et en coupe verticale selon une ligne de courant	148
Figure L.5. — Types de sources de déversement	149
Figure L.6. — Types de sources d'émergence	150
Figure L.7. — Types de sources de fracture	150

LISTE DES PLANCHES DE L'ATLAS

1. — Aquifères du Jurassique. Basse-Bourgogne-Barrois.
2. — Aquifères du Jurassique. Basse-Normandie et Pays de Bray.
3. — Nappe de l'Albien.
4. — Nappe de la Craie. Champagne-Sénonais.
5. — Nappe de la Craie. Picardie-Normandie.
6. — Nappe du Tertiaire. Soissonnais-Parisien-Brie-Hurepoix-Beauce.

Introduction

OBJET DE L'OUVRAGE

Jusqu'au début du xx^e siècle, toutes les ressources d'eau utilisées dans le bassin de la Seine provenaient des réserves souterraines, soit qu'on puisât dans les rivières dont le cours était maintenu permanent par l'émergence des eaux souterraines, soit qu'on puisât directement dans les nappes en captant les sources qui constituent leur trop-plein, ou en allant chercher l'eau par des puits à l'intérieur des réserves souterraines.

Dans le bassin Seine-Normandie, les eaux souterraines sont **abondantes** et de **bonne qualité**, mais avec la croissance des besoins en eau, leurs réserves doivent être exploitées de plus en plus. La valeur de l'eau justifie d'aller la chercher à des centaines de mètres de profondeur et de la refouler au moyen d'ouvrages de plus en plus coûteux.

Plus de 90 % des eaux de pluie qui alimentent les rivières leur sont parvenus après un trajet souterrain dans le sol, ou à travers les formations géologiques aquifères qui lui sont subordonnées. On peut donc distinguer deux catégories de réserves souterraines : les **réserves du sol** et les **réserves des formations géologiques**. On a donc besoin de connaissances de plus en plus précises sur toutes ces réserves d'eau, sur les volumes d'eau des réservoirs où l'on puise, sur leurs possibilités d'extraction, sur leur alimentation et sur leur bilan d'eau.

On reviendra sur les réserves des sols dans les conclusions générales du tome I, car ces réserves intéressent autant les eaux superficielles que les eaux souterraines.

Le présent fascicule est essentiellement consacré à donner l'état des connaissances sur les réserves hydrogéologiques. Pour faciliter la compréhension de ce texte, on trouvera un **lexique des termes hydrogéologiques** à la fin de l'ouvrage. On trouvera dans *l'Atlas* une série de cartes hydrogéologiques

au 1/500 000 donnant la position des réservoirs souterrains les uns par rapport aux autres et une série d'informations sur les surfaces piézométriques.

Les réservoirs souterrains du bassin parisien font partie d'un ensemble dont les **caractères hydrologiques généraux** font l'objet du deuxième chapitre. Les réserves d'eau sont contenues essentiellement dans les formations sédimentaires mises en place depuis l'époque secondaire.

On trouvera dans les chapitres 3 à 6 des informations sur les **aquifères du Jurassique**, dans les chapitres 7 à 9 sur les **formations du Crétacé**, dans les chapitres 10 à 13 sur les **formations du Tertiaire** et dans le chapitre 14 sur les **formations alluviales**.

Les informations données concernent la **description des réservoirs**, la **nature** des formations, leurs **caractéristiques hydrogéologiques**, les relations entre les diverses couches aquifères, les surfaces piézométriques, leurs **fluctuations**, les conditions de **captage des eaux**, l'évolution des prélèvements, les **propriétés physico-chimiques des eaux** et quelques données sur le **bilan d'eau** des formations. Ces dernières ont été puisées dans les publications indiquées dans la **bibliographie**. Actuellement, un bilan d'ensemble reste à établir, mais comme il ne peut être établi indépendamment du bilan des eaux superficielles et des eaux du sol, une synthèse globale sera tentée dans les conclusions générales du tome I.

Avant de passer à la présentation des aquifères, on trouvera ci-après la liste des principaux auteurs de ce travail. Les conceptions et les connaissances sur les eaux souterraines évoluant rapidement, il sera utile de dire quelques mots de **l'évolution** qui a conduit à l'état actuel **de nos connaissances**. Ceci fera l'objet du premier chapitre.

La rédaction du fascicule a été assurée par M. G. CASTANY, conseiller scientifique permanent

EAUX SOUTERRAINES

pour le Service géologique national du B. R. G. M. (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et M. Cl. MÉGNIEN, chef du Service géologique régional du bassin de Paris, avec la collaboration de MM. N. DESPREZ, G. DUERMAEL, M. GUILLAUME, G. RAMPON, J. C. ROUX, M. TIRAT et P. DE LA QUERRIÈRE. Les planches hydrogéologiques de l'Atlas ont été coordonnées par M. Cl. MÉGNIEN.

Les épreuves ont été revues par M. J. CORNET, hydrogéologue à l'Agence de Bassin Seine-Normandie, M. J. TIXERONT, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, M^{me} M. J. TSALKOVITCH, géographe et M^{me} E. BENEDETTI, hydrogéologue, qui ont aussi assuré le travail de publication. Les cartes de l'Atlas ont été exécutées par le B. R. G. M.

ÉVOLUTION DES CONCEPTS ET DES CONNAISSANCES SUR LES EAUX SOUTERRAINES

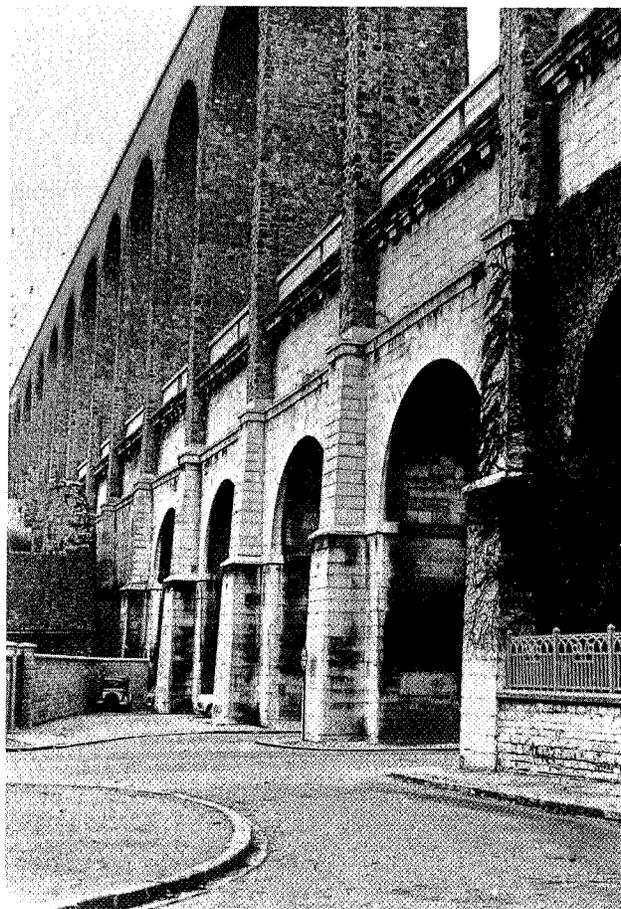
L'exploration, l'exploitation et l'étude des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire de Paris ont été à l'origine de la pensée moderne en hydrogéologie et des techniques de captage des eaux souterraines profondes. Elles ont apporté des données d'observation et des bases expérimentales solides favorisant le développement des Sciences de l'eau.

1.1. ÉPOQUE ROMAINE ET MOYEN AGE

L'utilisation des eaux souterraines remonte à des temps très anciens. C'est en effet sous le règne de l'empereur JULIEN, au IV^e siècle, que les sources de Rungis et de Cachan sont captées et conduites à Lutèce par l'aqueduc d'Arcueil (1 500 à 2 000 m³/j) (fig. 1.1). Les premiers captages des sources de Belleville et de Ménilmontant datent également de cette époque. L'aquifère des alluvions de la Seine, à Paris, est exploité par de nombreux puits au Moyen Age. Le plus ancien connu par la littérature est celui de l'Église de Saint-Julien-le-Pauvre (VII^e siècle).

1.2. NAISSANCE DE LA PENSÉE MODERNE EN HYDROGÉOLOGIE (XVI^e ET XVII^e SIÈCLES)

Les premières notions précises sur l'origine des eaux souterraines par infiltration des eaux de pluie, ayant abouti à une conception nette et réaliste du cycle de l'eau, sont dues à PALISSY (1580), auteur du « *Discours admirable de la nature des eaux et fontaines* ». Il souligne déjà, à cette époque, la pollution des puits de Paris dont les « eaux sont des égouts continuels ». PERRAULT (1674) et MARIOTTE (1686) confirment et précisent ces conceptions et, par une étude de l'écoulement de la Seine, montrent pour la première fois que les précipitations sont à l'origine de l'écoulement des cours d'eau en établissant des bilans d'eau à l'échelle de bassin. HABERT



(Photo Direction des services industriels et commerciaux)

Fig. 1.1. — L'Aqueduc d'Arcueil, près de Paris

Cet aqueduc a remplacé l'aqueduc romain qui amenait à Paris les eaux captées dans une petite nappe du Tertiaire. Il fut reconstruit à neuf dans le même but par Marie de Medicis, régente, par De La Brosse. Sur la photographie on distingue en bas, en pierres blanches, l'aqueduc amenant les eaux d'Arcueil; en haut, en pierre meulière, la surélévation qui fut exécutée vers 1870 pour faire passer les eaux de l'adduction de la Vanne.

EAUX SOUTERRAINES

(1628) pour sa part, par le remarquable « *Récit véritable des vertus et propriétés de l'eau minérale d'Auteuil* », ouvre la voie à l'étude des eaux minérales. DE LA HIRE, chargé par Louis XIV, en collaboration avec VAUBAN des travaux hydrauliques, entreprend en 1703 des expériences « in situ » sur l'infiltration (DE LA HIRE, 1703).

Dans son « *Plan hydrographique de la Ville de Paris* », BUACHE (1745), note l'existence d'une « espèce de nappe d'eau souterraine qui descend des terres dans la rivière ». Il dresse une carte piézométrique et une coupe Nord-Sud de Paris qui sont les **premières représentations graphiques précises d'un aquifère**.

1.3. ORIGINE DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES PROFONDES PAR FORAGES (XVIII^e ET XIX^e SIÈCLES)

C'est dans le Nord-Ouest du bassin de Paris, en Artois à Lillers (Pas-de-Calais) qu'est exécuté le **premier puits artésien**. D'ailleurs l'étymologie de l'artésianisme n'est-elle pas originaire de cette région? Les deux plus anciens forages de la région parisienne sont ceux de **Clichy** et de l'**École militaire**, exécutés respectivement en 1750 et 1775, avec des profondeurs respectives de 31 m et 20 m. Les premiers forages artésiens effectués dans l'Éocène inférieur des environs de Paris, au cours de la deuxième moitié du XVIII^e siècle, ont permis de nombreuses études sur les eaux souterraines.

BRONGNIART et ÉLIE DE BEAUMONT décrivant les affleurements albiens de l'Est du bassin de Paris, posent les bases de la **Stratigraphie** alors à ses débuts. Ces études permettent à ARAGO de prévoir la position de l'aquifère multicouche de l'Albien sous Paris. Les publications d'HÉRICART DE THURY (1810-1830) présentent la **synthèse des données géologiques et physiques sur le gisement des eaux souterraines albiennes**

Toutes ces études permettent en 1833 l'attribution de crédits par le conseil municipal de Paris pour l'exécution d'un forage de 400 m de profondeur. L'ouvrage est confié à MULOT qui avait en 1827 réussi le premier forage profond (167 m). Commencé le 24 décembre 1833 à **Grenelle**, il atteint le **toit de l'Albien à 548 m** le 26 février 1841 (au bout de 7 ans et 2 mois), après maintes vicissitudes. L'eau jaillit à **33 m** au-dessus du sol (niveau piézométrique calculé : 128 m) avec un débit de 160 m³/h. Cet ouvrage est l'ancêtre, non seulement des grands ouvrages artésiens, mais aussi des forages profonds européens (voir photo de couverture).

A la même époque, l'Albien est atteint à Saint-Fargeau (Yonne), à Sotteville (Seine-Maritime), à Elbeuf par 7 forages artésiens exécutés de 1834

à 1841 et à Passy en 1857 à 641 m de profondeur. Depuis, 42 puits ont été forés dans la région parisienne, dont 33 sont encore en activité, parmi lesquels 5 seulement demeurent artésiens.

1.4. DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROGÉOLOGIE MODERNE (XIX^e ET XX^e SIÈCLES)

Durant la première moitié du XIX^e siècle, le développement de la stratigraphie et l'exécution de nombreux forages profonds dans le bassin de Paris, favorisent les recherches des géologues, des foreurs et des ingénieurs et marquent l'essor de l'**hydrogéologie**, essor favorisé par des travaux de DARCY à Dijon, fondateur de l'**hydrodynamique des milieux poreux** (1856).

La notion de **bilan d'eau** est abordée par DEGOUSSE et LAURENT (1861) pour la butte Montmartre. DELESSE publie, en 1862, sa **carte hydrogéologique du département de la Seine** au 1/50 000 où sont figurées les courbes piézométriques des aquifères phréatiques et qui constitue le véritable prototype des cartes modernes. Le géologue DAUBRÉE montre, en 1887, les relations entre les structures géologiques et le régime des eaux souterraines. L'œuvre complète de BELGRAND « *Travaux souterrains de Paris* » est publiée en 1887.

Plus récemment les études géologiques et hydrogéologiques de DOLFUSS et SOYER complètent progressivement nos connaissances sur les eaux souterraines. DIENERT, en 1932, construit et exploite des **lysimètres** souterrains dans la région de Fontainebleau et dans le département de l'Yonne. Son ouvrage « *Hydrologie souterraine du département de la Seine* » est publié en 1942. IMBEAUX consacre un important chapitre de son « *Essai d'hydrogéologie* » (1930) au bassin de Paris. L'important mémoire de LEMOINE, HUMERY et SOYER, paru en 1939, donne un répertoire complet de toutes les données des sondages profonds réalisés à cette époque dans le bassin de Paris et la première synthèse cohérente de l'aquifère multicouche de l'Albien.

1.5. TRAVAUX RÉCENTS. ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

La surexploitation des eaux souterraines dans la région parisienne a été rapidement suivie d'une **baisse du débit** des sondages profonds. Un décret-loi est édicté en 1935 pour la **protection de l'aquifère de l'Albien** dans le centre du bassin. Il soumet l'exécution d'ouvrages de plus de 80 m de profondeur à une autorisation et leur exploitation à certaines restrictions.

La loi du 22 mai 1944, incluse depuis dans le Code minier français (articles 131, 132, 133), impose sur toute l'étendue du territoire national, la déclaration préalable à leur exécution, de tous les ouvrages de plus de 10 m de profondeur quel qu'en soit l'objet et la **fourniture des renseignements et documents** obtenus : géologiques, hydrogéologiques et miniers, ainsi que la **remise des échantillons prélevés**. Cette législation a été complétée récemment par l'application de l'article 60 de la loi sur l'eau du 16 décembre 1964, laquelle stipule que « les échantillons, documents et renseignements intéressant la recherche, la production ou le régime des eaux souterraines tombent immédiatement dans le **domaine public** ».

Le rassemblement, l'archivage et l'exploitation, pour la mise à disposition du public des données géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et minières, sont confiés au BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (B. R. G. M.).

Depuis une quinzaine d'années, le B. R. G. M. poursuit dans le bassin de Paris l'évaluation des ressources en eau. Ses actions principales sont les suivantes :

— *l'acquisition et l'archivage* (mise en mémoire sur ordinateur) des données de base hydrométéorologiques, hydrométriques, géologiques, hydrogéologiques, physico-chimiques et concernant les prélèvements et l'utilisation de l'eau. Ainsi est constituée une *banque de données hydrogéologiques* ;

— la mise en place d'une *infrastructure hydrogéologique* avec l'établissement et l'exploitation de

réseaux piézométriques et des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines. Mise en observation des principales sources et principaux captages ;

— *le traitement des données* pour la rédaction de synthèses, l'identification et la délimitation des aquifères et la cartographie des eaux souterraines à petite et grande échelles.

En outre, le B. R. G. M. établit des rapports inédits, la *carte hydrogéologique du bassin de Paris* au 1/500 000, l'*Atlas* des nappes aquifères de la région parisienne et des cartes hydrogéologiques détaillées au 1/50 000 (MÉGNIEU et coll., 1970).

Pour remplir au mieux les tâches qui lui sont confiées, DOUZE SERVICES GÉOLOGIQUES RÉGIONAUX du B. R. G. M. ont été créés en France. Le domaine du bassin Seine-Normandie est intéressé par deux d'entre eux :

— LE SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL DU BASSIN DE PARIS dont le siège principal est à Brie-Comte-Robert et dont les deux annexes se trouvent à Reims (Annexe Champagne) et à Orléans (Annexe Centre) ;

— LE SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL DE PICARDIE-NORMANDIE dont le siège principal est à Rouen et dont les deux annexes se trouvent à Amiens (Annexe Picardie) et à Caen (Annexe Basse-Normandie).

Le développement des études géologiques, fondamentales et appliquées, des prospections géophysiques et l'exécution de nombreux forages de recherche d'eau et de pétrole ont abouti à une **meilleure connaissance du sous-sol du bassin de Paris**.

CARACTÈRES HYDROGÉOLOGIQUES GÉNÉRAUX

2.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE : DIMENSIONS, LIMITES

La Seine et ses affluents, ainsi que les fleuves côtiers du littoral de la Manche, du Cotentin à l'embouchure de la Somme, forment un **vaste bassin hydrographique**, collecteur principal des eaux du bassin sédimentaire de Paris, d'âge secondaire et tertiaire et des versants du socle ancien qui en constituent les bordures : massif sédimentaire primaire des Ardennes au Nord-Est, massifs cristallins et cristallophylliens d'âge primaire et anté-primaire du Morvan au Sud-Est et du Cotentin à l'Ouest.

Le bassin de Paris, d'une superficie d'environ **135 000 km²**, soit plus du quart de la France, déborde les limites du bassin Seine-Normandie. C'est le plus grand bassin d'Europe occidentale, surtout si l'on considère qu'il se poursuit en Belgique et en Angleterre. Cette vaste unité structurale couvre une superficie d'environ 320 000 km² dont 30 000 sont occupés par la Manche. Elle est limitée à sa périphérie par le socle ancien des Ardennes et des Vosges à l'Est, du Massif Central au Sud, du Massif Armoricaïn et de Cornouailles à l'Ouest, du Pays de Galles et des Midlands au Nord-Ouest.

2.2. STRUCTURE HYDROGÉOLOGIQUE GÉNÉRALE

La géologie permet de distinguer deux grandes structures : le socle et le bassin sédimentaire. Le **socle** constitue le substratum général du complexe aquifère sédimentaire du bassin de Paris. Dans ce domaine son intérêt hydrogéologique, outre ses faibles ressources, est limité par sa grande profondeur. En terrains d'affleurements cristallins et métamorphiques les eaux souterraines sont localisées dans les recouvrements de formations superficielles et les zones de broyage et de fracturation. Elles sont relativement peu abondantes et l'essentiel des ressources provient des **formations sédimentaires** mises en place à partir de l'époque secondaire. Ce sont ces

grands aquifères qui seront décrits successivement (fig. 2.1).

La *disposition des affleurements* en auréoles concentriques des formations triasiques, jurassiques et crétacées autour d'une vaste zone centrale tertiaire d'une superficie de 21 500 km² (Ile-de-France), est caractéristique (fig. 2.1). La pente des assises vers le centre de la cuvette, quoique faible (environ 1,50 m pour 100 m) et l'augmentation simultanée d'épaisseur des dépôts, conséquence d'une lente subsidence (affaissement lent du socle), entraînent une puissance maximale de plus de 2 000 m à proximité Est de Paris (fig. 2.2).

Cette structure générale, en « **piles d'assiettes creuses** » (assiettes brisées), est déformée par des plissements anticlinaux et synclinaux accidentés de fractures et orientés selon trois directions moyennes, NW-SE à l'Ouest, E-W au centre et SW-NE à l'Est. Cette architecture impose les grands traits de la géomorphologie. Géologie et géomorphologie permettent de délimiter et de caractériser les **structures et les zones hydrogéologiques**, les premières correspondant au volume des aquifères et les secondes à des zones géographiques d'exploitation des eaux souterraines.

2.3. RÉPARTITION VERTICALE DES EAUX SOUTERRAINES. PRINCIPAUX AQUIFÈRES

La structure géologique du bassin sédimentaire permet la formation de gisements d'eaux souterraines ou **aquifères**, importants et étendus. Citons le cas de la nappe albienne : sa superficie couvre 90 000 km² dans le bassin de Paris, dont 64 000 km² dans le bassin Seine-Normandie. La localisation en profondeur et la puissance des aquifères sont déterminées par les **unités lithostratigraphiques** constituant les *réservoirs aquifères* ou les *impermeables*.

Le remplissage de dépôts sédimentaires du bassin, étudié sur une série verticale, reconnue dans un sondage par exemple, est constitué d'une succes-

TABLEAU 2.1
Grandes formations et aquifères multicouches du bassin Seine-Normandie

Datations (millions ans)		Ères	Unités chronostratigraphiques				Unités lithostratigraphiques		Unités hydrogéologiques		Régions d'affleurements	Zones d'exploitation zones hydrogéologiques								
Âges absolus	Durées		Systèmes	Étages	Sous-étages	Formations	Grands aquifères													
1	1	QUATERNAIRE	HOLOCÈNE PLÉISTOCÈNE				Alluvions : graviers et sables, formations superficielles	Aquifères des alluvions Aquifères locaux	10	Vallées Socle	Vallées Socle									
12	11											NÉOGÈNE	AQUITANIEN							
24	12																			OLIGOCÈNE
36	12	TERTIAIRE	ÉOCÈNE SUPÉRIEUR	BARTONIEN	LUDIEN	MARNÉSIE	Calcaire de Champagne <i>Marnes infragypseuses</i> Sables de Monceau Calcaire de Saint-Ouen	Aquifère multicouche du Calcaire de Champagne	8	Plateau de Brie	Brie Bière									
												50	ÉOCÈNE MOYEN	LUTÉTIEN	CUISIEN					
55	15	PALÉOCÈNE	THANÉTIEN	DANO-MONTIEN			Sables de Bracheux Lacune de dépôts	Aquifère des Sables de Bracheux Localement continuité entre les aquifères (Soissonnais)	6	Soissonnais	Laonnois									
												70	SÉNONIEN	TURONIEN	CÉNOMANIEN	Craie supérieure Craie grise marneuse Craie inférieure glauconieuse Gaize sableuse ou <i>siliceuse</i>	Aquifère de la Craie	5	Gâtinais-Sénonais Champagne pouilleuse - Barrois Picardie-Laonnois Haute-Normandie Ile-de-France (localement)	

65	SECONDAIRE	CRÉTACÉ	CRÉTACÉ INFÉRIEUR	ALBIEN	Marnes de Brienne Argiles du Gault	4	Puisaye Champagne humide Argonne Boulonnais Pays de Bray Normandie	Ensemble du bassin		
									Sables de Frécaumont Argiles tégulines Sables des Drillons Argiles de l'Armanche Sables verts	Aquifère multicouche de l'Albien
45	JURASSIQUE	JURASSIQUE	JURASSIQUE SUPÉRIEUR OU MALM	WALDIEN	Argiles plastiques et marnes sa- bleuses; bancs de grès lenticulaires	3	Basse-Bourgogne Barrois Lorraine Basse-Normandie	Centre du bassin		
									Formation barrémienne d'argiles bariolées à intercalations de grès et de sables lenticulaires	Aquifère multicouche du Néocomien-Barrémien
									Formation wealdienne d'argiles sableuses bariolées avec interca- lations de grès fins peu consolidés	
									Calcaires supérieurs	Aquifère supérieur du Jurassique
									Marnes et calcaires marneux	2
									Calcaire récifaux, oolithiques ou compacts	Aquifère moyen du Jurassique
									Calcaires feuilletés et marno-calcaire	
									Calcaires de base; calcaires à En- troques	
									Grès calcaires	Aquifère de base du Jurassique
									Argiles, marnes et schistes	
40	TRIAS	SOCLE	JURASSIQUE INFÉRIEUR OU LIAS	HETTANGIEN	Calcaires gréseux compacts	1	Bordure nord du Morvan : Bazois, Terre Plaine, Auxois Bassigny Basse-Normandie (plaine de Caen			
									Calcaires gréseux compacts	Aquifère du Domérien
									Marnes micacées, Alternance de marnes et de calcaires marneux	
									Calcaires gris-bleus compacts	Aquifère du Sinémurien
									Calcaires marneux et marnes	
									Argiles bariolées à gypse Grès de base localement	Aquifères locaux salés
Couches d'altérations du socle	Aquifères locaux									

TABLEAU 2.2.

Coupes schématiques des forages de la Grande Paroisse et de la Maison de l'O. R. T. F., quai Kennedy à Paris

MAISON DE L'O.R.T.F.			GRANDE PAROISSE			
Formations traversées	Épaisseur (m)	Cote (m)	Profondeur (m)	Cote (m)	Épaisseur (m)	Formations traversées
TERTIAIRE	11,50	+ 29,20	— 11,50	+ 55		
SÉNONIEN	412,50		— 100			SÉNONIEN
TURONIEN			— 200		474	TURONIEN
			— 300			
			— 400			
CÉNOMANIEN	56	— 394,80	— 424	— 419		CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR
ALBIEN SUPÉRIEUR Argiles du Gault	40	— 450,80	— 480			
FORMATION ARGILO-SABLEUSE DE L'ALBIEN	75	— 490,80	— 520	— 542		CÉNOMANIEN INFÉRIEUR
APTIEN	29	— 565,80	— 595	— 578		ALBIEN SUPÉRIEUR Argiles du Gault
BARRÉMIEN	44	— 594,80	— 624	— 605		
HAUTERIVIEN	15	— 638,80	— 668		112	FORMATION ARGILO-SABLEUSE DE L'APTIEN
WEALDIEN	70	— 653,80	— 683	— 717		APTIEN
JURASSIQUE SUPÉRIEUR		— 723,80	— 753	— 758-763	41	BARRÉMIEN
		— 788,30	— 788,30			

ne sont jamais tous superposés sur une même verticale, mais, par contre, localisés dans des zones hydrogéologiques (fig. 2.3).

1. *Aquifère du Jurassique inférieur (ou Lias)* et, par places, du Trias et des altérations du socle, localisé à l'Est en Basse-Bourgogne et en Bassigny, et à l'Ouest en Basse-Normandie;

2. *Aquifère karstique multicouche du Jurassique moyen et supérieur* (Dogger et Malm). Bien développé

dans les régions hydrogéologiques où les formations jurassiques affleurent (Basse-Bourgogne, Barrois, Lorraine, Basse-Normandie), il se prolonge en profondeur vers le centre du bassin où il a été reconnu par des sondages d'exploration pétrolière à plus de 2 000 m (fig. 2.2). Mais la teneur en sels dissous (résidu sec), surtout en chlorures, des eaux souterraines augmente très rapidement dès que l'on s'éloigne des zones d'affleurement et avec la profondeur (tableau 2.3).

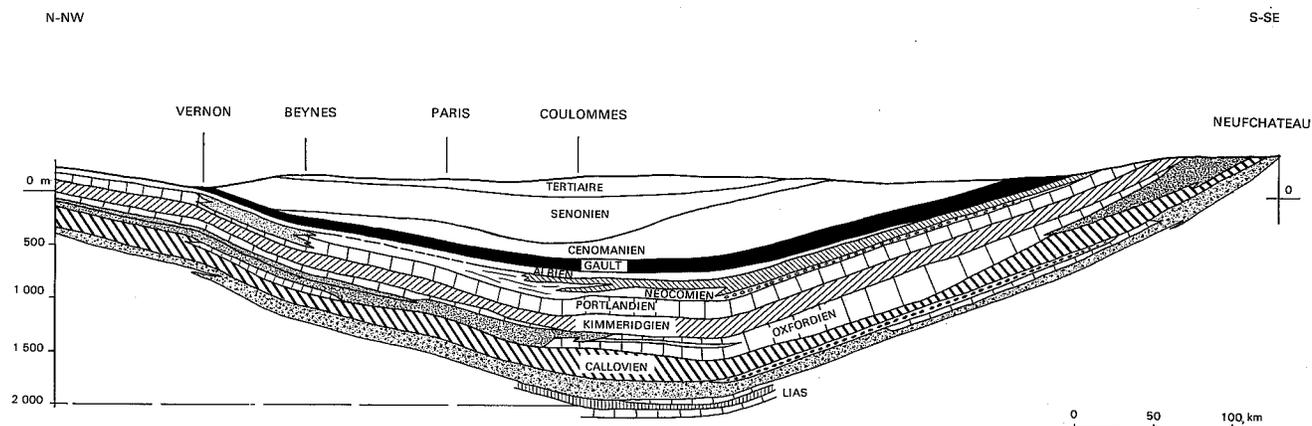


Fig. 2.2. — Coupe générale transversale du bassin de Paris

TABLEAU 2.3

Eaux souterraines du Bathonien (Dogger supérieur) profond du bassin de Paris

Concentrations en mg/l	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Résidu sec
Forage d'Étampes	148	121	4 750	90	6 745	1 550	13 361
Forage de Perthes	148	59	2 400	20	3 017	1 200	6 844

Par exemple, au sondage de Chailly-en-Bière le résidu sec est de 8 500 mg/l dans le Callovien, puis dans le Dogger, de 9 000 mg/l à 1 690 m de profondeur et 11 000 mg/l à 1 710 m. Pour les eaux souterraines du Dogger notons des résidus secs de 14 000 mg/l à Nangis (1 900 m de profondeur), de 18 000 mg/l à Perthes (1 815 m), de 29 000 mg/l à Coulommès (1 890 m), une teneur en NaCl de 18 000 mg/l à Saint-Pierre-lès-Nemours (1 826 m). Quant aux eaux plus profondes, elles dépassent la teneur moyenne de l'eau de mer de 35 000 mg/l, avec 80 000 mg/l pour le Lias à Nangis (2 265 m), et pour le Permo-Trias de Château-Landon, 49 000 mg/l à 2 200 m de profondeur, 91 000 mg/l à 2 320 m et 117 000 mg/l à 2 440 m (SOYER et CAILLEUX, 1964).

3. *Aquifère multicouche du Néocomien-Barrémien*, en profondeur dans le centre du bassin;

4. *Aquifère multicouche de l'Albien*, ou nappe albienne ou des Sables verts, important dans la région parisienne, mais qui s'étend sur la plus grande partie du bassin;

5. *Aquifère de la Craie* dans la formation de la Craie du Turonien et du Sénonien, le plus important aquifère affleurant du bassin, exploité dans le Gâtinais, le Sénonais, en Champagne, en Picardie et en Normandie;

6. *Aquifère des Sables de Bracheux* et du sommet de la Craie situé au Nord de l'Île-de-France, dans le Soissonnais;

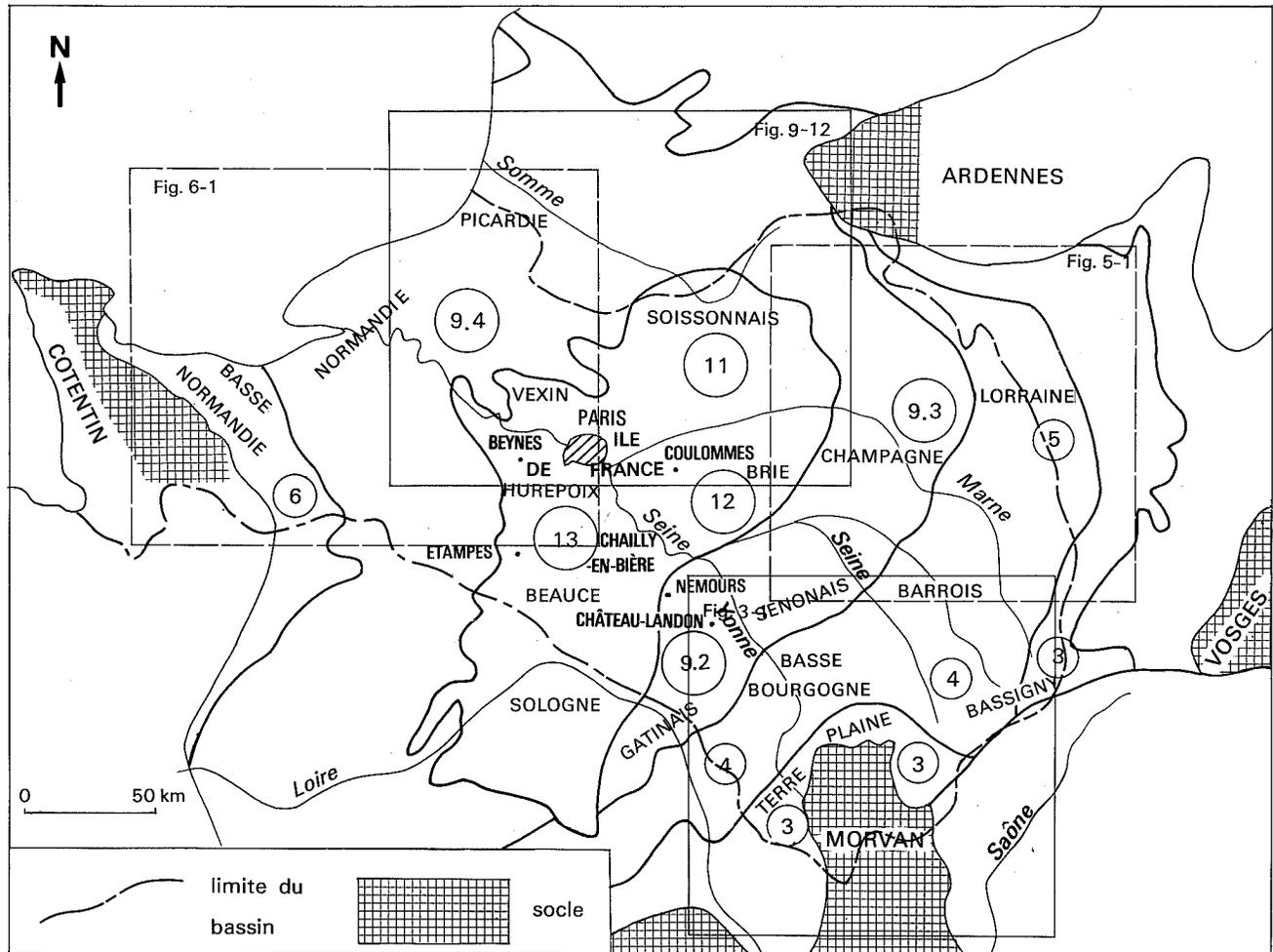


Fig. 2.3 — Localisation des zones hydrogéologiques étudiées dans le texte

Les chiffres entourés d'un cercle indiquent les chapitres de l'étude de l'aquifère et les rectangles, les zones représentées à grande échelle dans les figures du texte

7. Aquifère multicouche des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier, ou nappe du Soissonnais dans les formations sableuses, argilo-sableuses et calcaires de l'Éocène inférieur et moyen, exploité au Nord de l'Ile-de-France, en Parisis, Vexin, Valois et Soissonnais;

8. Aquifère multicouche du Calcaire de Champagne en roche-réservoir calcaire de l'Éocène supérieur situé en Brie;

9. Aquifère multicouche du Calcaire de Brie, du Calcaire de Beauce et des Sables de Fontainebleau, ou nappe du Calcaire de Beauce, dans les formations sableuses et calcaires de l'Oligocène, exploité en Beauce et dans le Hurepoix;

10. Aquifère des alluvions localisé dans les plaines alluviales.

2.4. RELATIONS ET INTERDÉPENDANCE DES EAUX DE SURFACE ET DES EAUX SOUTERRAINES

Une attention toute particulière doit être portée aux caractéristiques des échanges, transferts d'eau et de pression, entre les aquifères et les cours d'eau. Étant donné la structure hydrogéologique, ils ne sont pas limités aux aquifères libres, des alluvions en particulier. Par les intercommunications et échanges verticaux entre les aquifères, ils sont généralisés

jusqu'aux niveaux profonds et intéressent l'ensemble du bassin, lequel peut être considéré à cette échelle comme un grand aquifère complexe ou multicouche. C'est ainsi que le grand axe de drainage de la Basse-Seine, affectant l'aquifère complexe alluvions-Craie, s'identifie nettement sur la carte piézométrique de la nappe albienne (MARGAT, 1969). Cette observation est d'ailleurs générale aux grands bassins sédimentaires, au bassin d'Aquitaine en particulier.

Les relations hydrologiques rivière-nappe seront examinées ultérieurement avec l'étude de l'aquifère des alluvions.

2.5. RÉGIME DE L'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

Le régime de l'écoulement des eaux souterraines, dans le bassin sédimentaire, est très complexe et des études récentes ont montré que les conceptions actuelles doivent être revues. Les représentations établies sont fort éloignées des conditions de terrain. Cette constatation s'applique particulièrement aux aquifères profonds.

Les vitesses effectives d'écoulement dans les structures hydrogéologiques, bien que *très faibles*, ont des répercussions pratiques sur le renouvellement des réserves, l'établissement des bilans et l'exploitation des eaux souterraines.

Les résultats obtenus doivent être revus en tenant compte des enseignements apportés par les **études géochimiques** récentes sur les sels dissous et les radioisotopes naturels (carbone 14 et tritium) (VUILLAUME, 1971). Celles-ci montrent l'importance des *écoulements verticaux* de transfert entre les aquifères et l'alimentation des nappes profondes par percolation des eaux souterraines à travers les formations semi-perméables qui les recouvrent. Ces faits seront développés lors de l'exposé relatif à l'aquifère multicouche de l'Albien et les conclusions générales en seront tirées en fin de chapitre.

2.6. EXTENSION SPATIALE DES AQUIFÈRES. STRUCTURES ET ZONES HYDROGÉOLOGIQUES

Les formations identifiées en un point (observations ponctuelles), dans un sondage ou sur un affleurement, ne présentent pas une extension spatiale généralisée, donc une continuité géographique par suite (fig. 2.4 à 2.7) :

- des discontinuités de sédimentation : variations latérales de faciès, lacunes de dépôts, érosions anciennes, discordances et transgressions marines;
- des accidents tectoniques : plissements, failles, paléoreliefs.

Deux conséquences, importantes pour l'hydrogéologie, découlent de cette géologie complexe :

- intercommunications fréquentes des aquifères;
- difficulté de délimiter et d'identifier les aquifères, donc les structures et les zones hydrogéologiques.

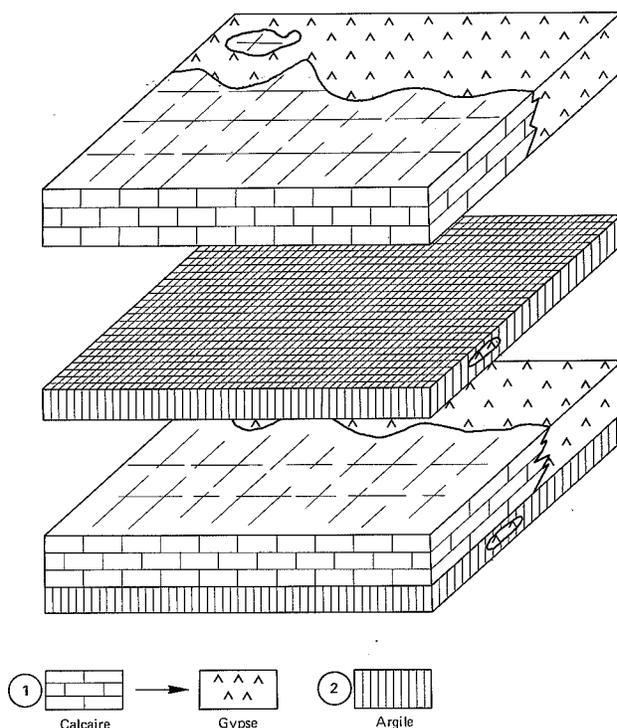


Fig. 2.4. — Schéma explicatif d'une variation latérale de faciès

La formation supérieure montre le passage latéral de calcaires à des gypses

Intercommunication des aquifères et unicité hydraulique du bassin sédimentaire

L'isolement hydraulique des aquifères est très défectueux, les formations imperméables et semi-perméables ne constituant pas des écrans étanches par suite de leur perméabilité verticale relative et de leur discontinuité spatiale. Les aquifères du bassin constituent donc un complexe unique dont le régime des eaux souterraines doit être considéré dans son ensemble. Aucun réservoir ne peut être individualisé hydrauliquement. Cette conception exige une méthodologie d'étude appropriée pour l'établissement des bilans, la gestion de l'eau et les relations entre les eaux de surface et celles réparties à différentes profondeurs.

Le régime des eaux souterraines du bassin, relativement simple à l'échelle générale, devient très complexe à l'échelle locale. C'est pourquoi les projets particuliers d'exploitation et de conservation des eaux souterraines exigent des études géologiques détaillées et précises.

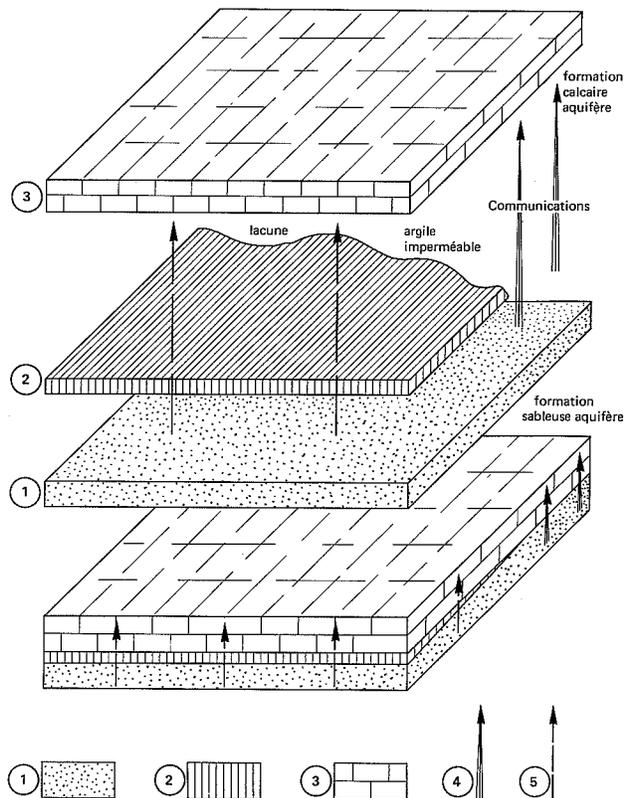


Fig. 2.5. — Schéma explicatif d'une discontinuité de sédimentation accompagnée d'une lacune de dépôts et son rôle hydrogéologique.

La formation d'argile imperméable ou semi-perméable (2), interstratifiée entre une formation de sables (1) à la base et de calcaires (3) au sommet, n'est pas continue latéralement. Il y a lacune de dépôt en arrière de la figure. Ainsi, des communications s'établissent entre les deux aquifères; (4) : communications directes entre aquifères par lacune de dépôt; (5) : échanges par drainance à travers les argiles.

Grandes zones hydrogéologiques du bassin sédimentaire

Les dix aquifères, simples ou multicouches, identifiés dans la répartition verticale idéale des eaux souterraines, présentent une extension géographique variable en fonction des structures hydrogéologiques. Tout d'abord la *superficie des formations diminue* avec leur élévation dans la succession stratigraphique : 100 000 km² pour l'Albien contre 1 000 pour le Calcaire de Beauce. Ayant retenu, pour chaque étage, le faciès favorable à la localisation de roches-réservoirs (par exemple le Calcaire de Champigny du Ludien), l'étendue des aquifères est déterminée par les *caractéristiques lithostratigraphiques et structurales*. Les variations latérales de faciès fréquentes et les accidents tectoniques ont pour conséquence que les aquifères, quoique importants, s'étendent rarement à la totalité de la région géographique intéressée par l'unité chronostratigraphique (étage ou sous-étage) à laquelle ils sont rapportés (l'aquifère néocomien du Crétacé inférieur est, par exemple, limité au faciès sableux, dit wealdien). C'est pourquoi il a été nécessaire d'effectuer des regroupements ou des subdivisions basés sur la notion d'*unités lithostratigraphiques* (ex. Calcaire de Beauce) définissant des *formations aquifères*. Celles-ci identifient des roches-réservoirs constituant des gisements d'eaux souterraines mieux délimités.

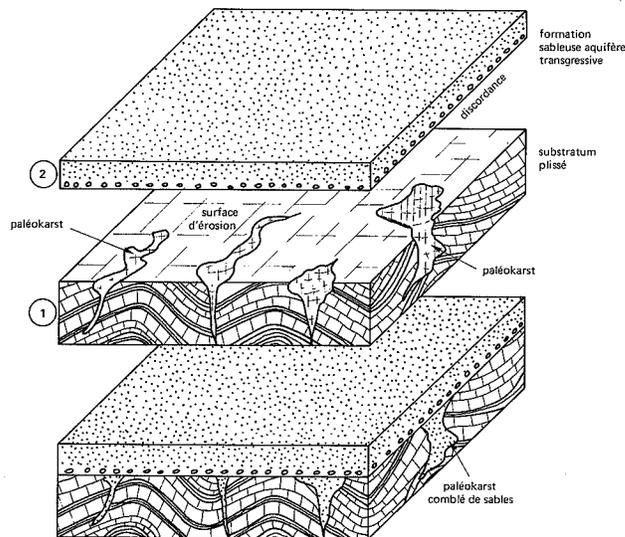


Fig. 2.6. — Schéma représentatif d'une discordance et de son rôle hydrogéologique

La formation aquifère sableuse horizontale repose en discordance sur un soubassement de calcaires plissés. La formation sableuse est transgressive sur les calcaires. Les épisodes qui se sont succédé sont le plissement de la formation calcaire, son érosion ayant créé une surface d'érosion et des paléokarsts, la transgression marine et le dépôt de sables.

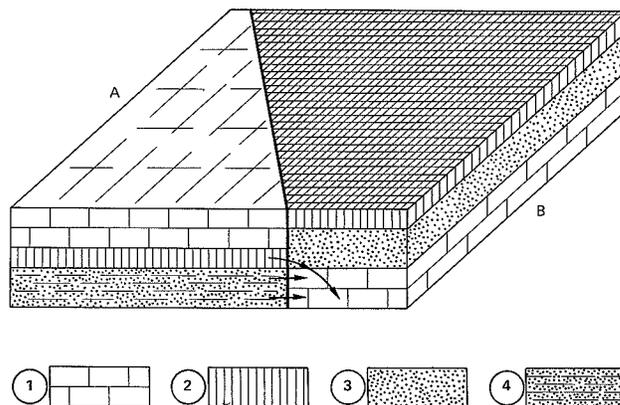


Fig. 2.7. — Schéma explicatif d'une faille et de son rôle hydrogéologique

La faille, par le décalage des formations, met en contact latéral des aquifères, favorisant les communications. 1 : formation calcaire; 2 : formation argileuse; 3 : formation sableuse; 4 : formation de sables argileux.

CARACTÈRES HYDROGÉOLOGIQUES

Les caractéristiques chimiques de la roche-réservoir sont également un facteur limitatif de l'exploitation des eaux souterraines, les sels solubles provoquant une pollution naturelle : gypses des formations triasiques, liasiques et tertiaires et eaux séléniteuses par exemple. Quant aux aquifères profonds, deux conditions limitent leur intérêt : l'augmentation de la teneur en sels dissous avec la profondeur et l'éloignement des zones d'alimentation (cas du Jurassique) et diminution rapide de la perméabilité sous une couverture plus récente (cas de l'aquifère de la Craie). En définitive, seule la nappe albienne est exploitable sur l'ensemble du bassin à l'exception de la zone salée du littoral de la Manche. Les aquifères des alluvions, quoique localisés dans les vallées, peuvent également par leur unité hydrogéologique être étudiés dans leur ensemble. Pratiquement l'étude des autres aquifères doit être abordée par grandes zones hydrogéologiques. Toutes ces considérations imposent le plan suivant de la monographie hydrogéologique du bassin Seine-Normandie :

- aquifère du Jurassique inférieur (Lias) de Basse-Bourgogne et du Bassigny;
- aquifère calcaire karstique multicouche du Jurassique moyen (Dogger) et supérieur (Malm) de Basse-Bourgogne et du Barrois;
- aquifère calcaire karstique du Jurassique supérieur (Malm) de Lorraine;
- aquifère calcaire karstique multicouche du Jurassique moyen de Basse-Normandie;
- aquifère multicouche du Néocomien-Barrémien;
- aquifère multicouche de l'Albien;
- aquifères de la Craie :
 - aquifère de la Craie en Gâtinais-Sénonais;
 - aquifère de la Craie de Champagne;
 - aquifère de la Craie de Normandie-Picardie;
 - aquifère de la Craie de l'Ile-de-France;
- aquifère des Sables de Bracheux et du sommet de la Craie;
- aquifère multicouche des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier;
- aquifère multicouche du Calcaire de Champigny;
- aquifère multicouche du Calcaire de Brie, du Calcaire de Beauce et des Sables de Fontainebleau;
- aquifère des alluvions.

AQUIFÈRES DU JURASSIQUE INFÉRIEUR (LIAS) DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BASSIGNY

3.1. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DU JURASSIQUE DE BASSE-BOURGOGNE ET DE CHAMPAGNE

La bordure septentrionale du massif cristallin du Morvan et la *dépression* des formations essentiellement argileuses du Lias, suivie vers le Nord par les **plateaux calcaires karstiques** du Jurassique moyen et supérieur de l'Auxerrois, du Châtillonnais, du plateau de Langres et du Barrois, constituent une zone hydrogéologique naturelle. Elle est limitée au N-NW par l'aurole crétacée de Puisaye et de Champagne humide et la cuesta de la Craie (planche 1, de l'Atlas, fig. 3.1 et 4.1).

Correspondant à la limite orientale du bassin de la Seine, cette zone hydrogéologique, située aux confins de trois grands bassins hydrographiques (Seine, Rhône et Meuse), comprend les bassins versants drainés par les hautes vallées de l'Yonne (Cure), du Serein, de l'Armançon, de la Seine, de l'Aube et de la Marne. Ces rivières y prennent leurs sources (fig. 3.1).

Deux grandes régions naturelles s'individualisent, correspondant à deux formations géologiques, roches-réservoirs de deux aquifères complexes distincts (CLAIR, 1966, MÉGNIEN, 1964 et RAT, 1972) (planche 1 et fig. 3.1) :

- **Le Bazois, la Terre-Plaine et l'Auxois**, ou plaines prémorvandelles, épousant la terminaison septentrionale du massif cristallin du Morvan et le **Bassigny** à l'Est. Ce pays argileux, humide et pauvre en eaux souterraines, correspond à la **formation complexe argilo-calcaire** du Lias.
- **La Basse-Bourgogne et le Barrois**, ou plateaux bourguignons, vaste domaine de la **formation complexe calcaire karstique** du Jurassique moyen et supérieur. Ce sont des plateaux calcaires à morphologie karstique, arides avec d'importantes réserves en eaux souterraines.

3.2. FORMATION COMPLEXE ARGILO-CALCAIRE DU LIAS DU BAZOIS, DE LA TERRE-PLAINE, DE L'AUXOIS ET DU BASSIGNY

Cette formation, couvrant une zone hydrogéologique de 500 km² environ, mérite seulement d'être mentionnée car les aquifères qu'elle renferme sont limités en puissance et en extension. Les ressources en eaux souterraines sont faibles (MÉGNIEN, 1964).

Description sommaire du réservoir

La bordure granitique du Morvan s'ennoie au Nord et au NW sous les dépôts du Lias (150 à 200 m d'épaisseur, avec un plongement de 1,5 à 2,5 % en moyenne) (fig. 3.2 et 4.1). La formation complexe des dépôts liasiques, peu perméable dans son ensemble, est formée en majeure partie de marnes et d'argiles coupées de *trois petits réservoirs calcaires* donnant des aquifères de faible puissance (fig. 3.2 et tableau 3.1).

Hydrogéologie

Les ressources en eaux souterraines sont localisées dans trois aquifères correspondant aux trois niveaux perméables reconnus dans la lithostratigraphie du Lias.

Eaux du Trias. La formation gréseuse de base du Trias, avec les couches d'altération du socle, renferment un aquifère dont l'eau est impropre à la consommation par sa forte teneur en sels dissous due à la présence de gypse en particulier (riche en sulfates et chlorures) (tableau 3.2).

Les *calcaires du Sinémurien* donnent naissance à un aquifère libre, le plus important de cette région dont les émergences sont en général diffuses. Les sources sont nombreuses, mais de faible débit dépassant exceptionnellement 100 m³/jour. Les variations de leur régime sont comprises entre les rapports

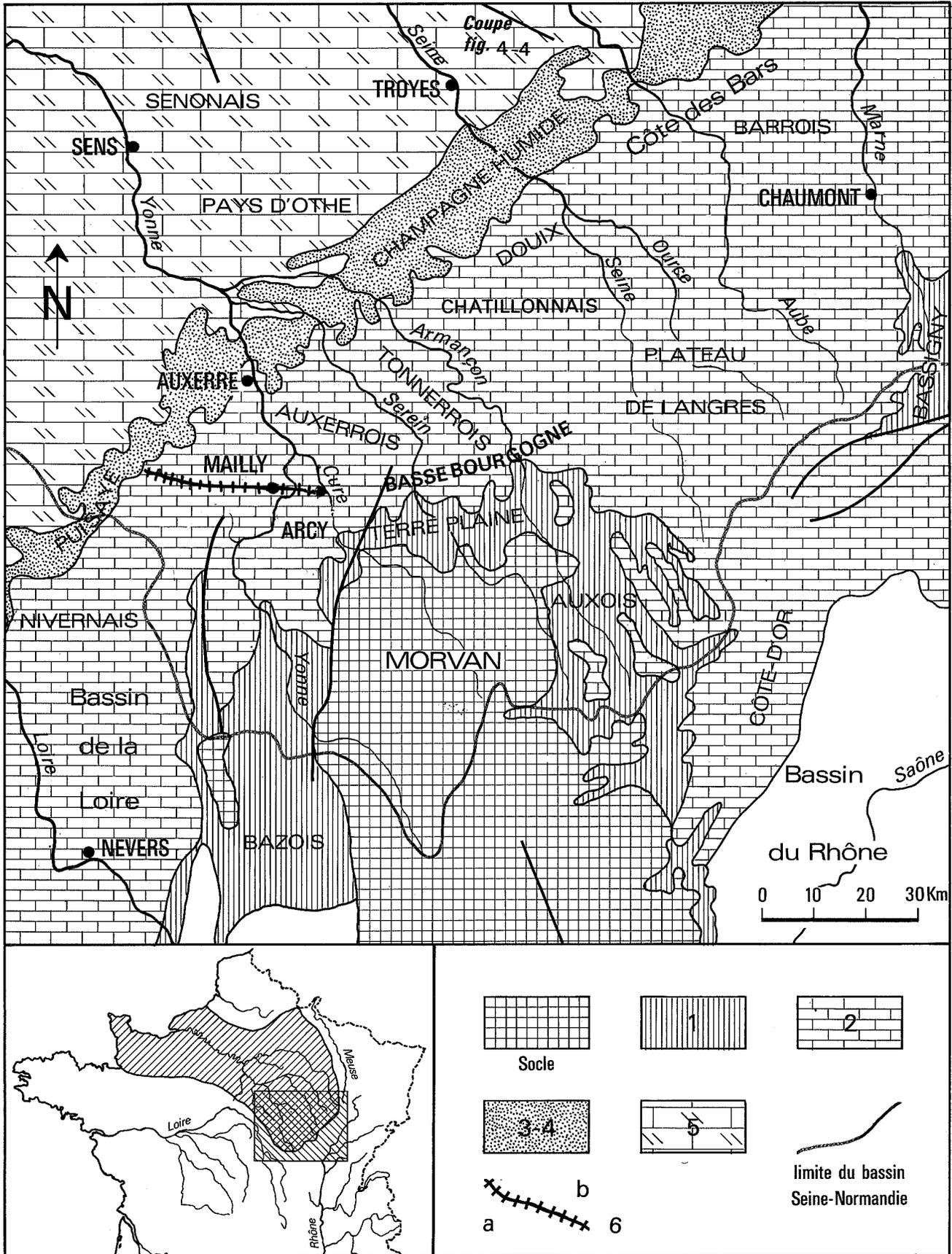


Fig. 3.1. — Carte schématique de la répartition des formations du Jurassique inférieur et du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois

1 : formation complexe argilo-calcaire du Jurassique inférieur (Lias) de la Terre-Plaine et du Bassigny; 2 : formation calcaire karstique du Jurassique moyen et supérieur; 3-4 : formations du Crétacé inférieur; 5 : formation de la Craie; 6 : limite de faciès entre les calcaires massifs récifaux (a) et l'alternance de calcaires et de marnes (b), à l'Oxfordien.

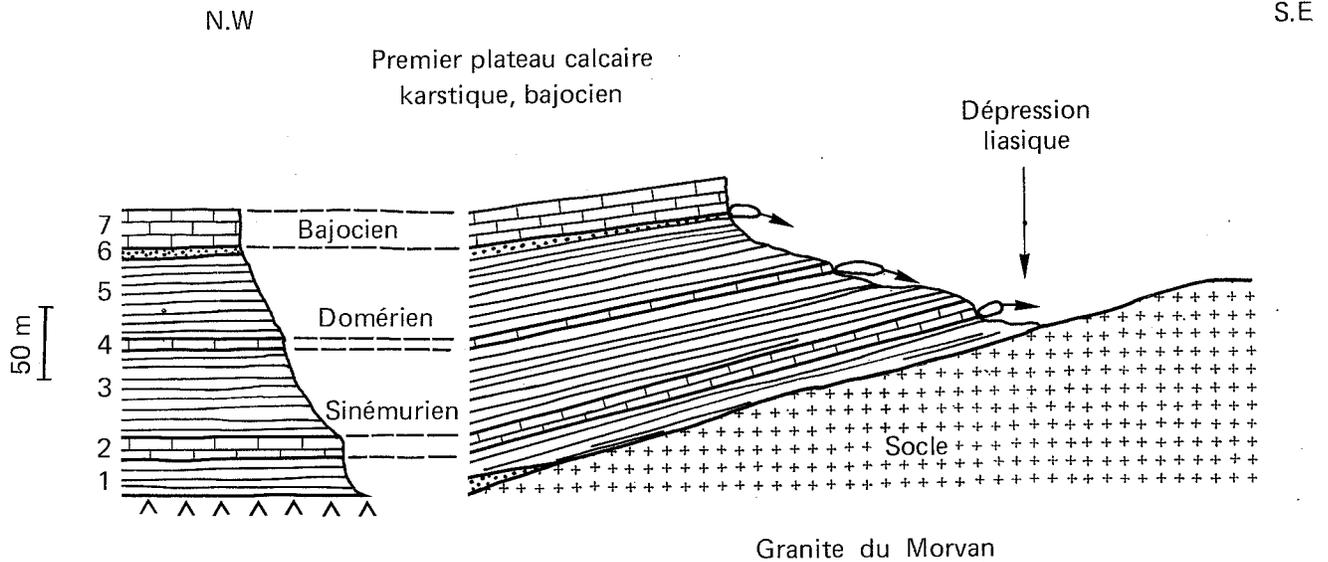


Fig. 3.2. — Formations géologiques et roches-réservoirs de la Terre-Plaine

Successivement de bas en haut : 1 : calcaires marneux et marnes de l'Hettangien ; 2 : formation calcaire sinémurienne ; 3 : alternance de marnes et calcaires marneux du Pliensbachien et argiles micacées du Domérien inférieur ; 4 : formation calcaire domérienne ; 5 : formation d'argiles et schistes du Toarcien ; 6 : grès calcaires de l'Aalénien ; 7 : formation calcaire karstique du Bajocien.

TABEAU 3.1.

Lithostratigraphie du Jurassique inférieur (Lias), de la Terre-Plaine, de l'Auxois et du Bassigny

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie
	Grès calcaires		AALÉNIEN
30-70		Formation argileuse argiles, marnes et schistes	TOARCIEEN
5-6	Formation calcaire domérienne calcaires gréseux compacts (banc de Roc)		sup. DOMÉRIEN
60		Marnes micacées	inf. DOMÉRIEN
10		alternances de marnes et de calcaires marneux	PLIENSBACHIEEN
4-8	Formation calcaire sinémurienne calcaires gris-bleus, compacts, fissurés		SINÉMURIEEN
8-20		Calcaires marneux en petits bancs et minces lits marneux (silicifiés par endroits)	HETTANGIEEN
0-20	Grès de base	Argiles bariolées à gypse et dépôts silicifiés par la suite	TRIAS
	Couches d'altération du socle		SOCLE

AQUIFÈRES DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BASSIGNY

TABLEAU 3.2

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de la formation complexe argilo-calcaire du Trias et du Lias de la Terre-Plaine

Lithostratigraphie	Localisation	Résistivité ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l							
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
				CaO		MgO					
Calcaires du Domérien supérieur	Source des Ajoncs à Perri-gny	2 180	29						8	15,6	
	Source de Ménades	2 170	30	143	9,5	162	3		7	3,5	
Calcaires du Sinémurien	Source de Bierry	2 250	25,5						6	5	
	Thoisy-le-Désert	1 337	47	134	32				8,8	214	384
	Marche Seuil			124	6	6,5	6,9		12,4	24	363
	Source de Guillon	1 380	33,5					0,1	13,5	19,1	
Sables et grès du Trias	Source Vermicourt	1 404	43	160	7,2	6,5	5,5		12,4	165	320
	Thoisy-le-Désert	936	2,5	6	2,4	228	6,1		33,7	197	

1 à 2 et 1 à 10 (rapport du débit moyen minimal au débit moyen maximal). Les eaux de type bicarbonaté calcique, avec fortes teneurs en sulfates dues à l'altération des pyrites, ont une résistivité moyenne de 2 400 ohm.cm. Le degré hydrotimétrique se situe entre 24 et 35 degrés français (fig. 3.3).

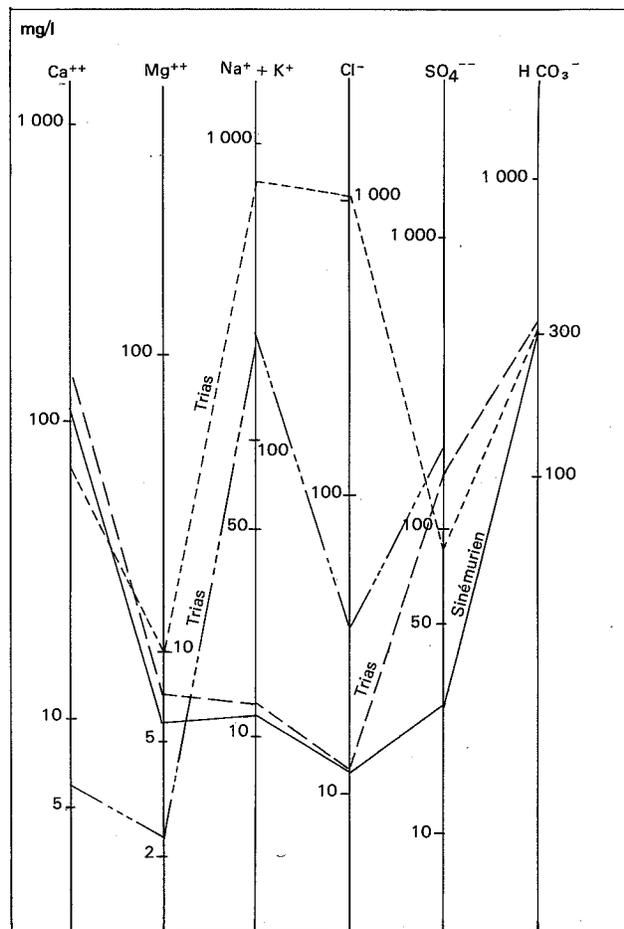
Les calcaires gréseux du Domérien supérieur, affleurant en un mince feston sur la pente argileuse du Lias (fig. 3.2) ou parfois en buttes-témoins, ont un bassin d'alimentation très réduit. Presque toutes les sources sont du type déversement. Elles sont nombreuses, de faible débit, dépassant rarement 25 m³/j, mais relativement constant.

La résistivité de l'eau est généralement comprise entre 1 400 et 2 200 ohm.cm. On note souvent la présence de sulfates et de chlorures résultant du lessivage des Argiles du Toarcien.

Les grès calcaires de l'Aalénien renferment un aquifère pouvant satisfaire des besoins locaux. Il est alimenté principalement par l'aquifère des calcaires du Bajocien qui le surmonte. Les eaux souterraines sont souvent ferrugineuses. De nombreuses sources jalonnent la base de la formation au contact des argiles toarciennes.

La zone hydrogéologique de la Terre-Plaine, de l'Auxois, du Barrois et du Bassigny est riche en eaux de surface, mais pauvre en eaux souterraines. Les trois niveaux aquifères reconnus ne suffisent pas à l'alimentation des agglomérations, lesquelles pour satisfaire leurs besoins, ont recours aux ressources en eaux souterraines du Jurassique moyen.

Le tableau 3.2 donne quelques résultats d'analyses d'eau du Trias, du Domérien et du Sinémurien.



D'après Clair, 1966.

Fig. 3.3. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Trias et du Lias

AQUIFÈRE CALCAIRE KARSTIQUE MULTICOUCHE DU JURASSIQUE MOYEN (DOGGER) ET SUPÉRIEUR (MALM) DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BARROIS

4.1. CADRE GÉNÉRAL

La zone hydrogéologique des massifs calcaires karstiques du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois dessine une vaste auréole succédant à la dépression liasique de la bordure nord du Morvan et du Bassigny (planche 1 de l'Atlas, fig. 3.1, 4.1 et 4.2). La région orientale marque la ligne de partage des eaux de surface entre les bassins de la Seine à l'Ouest et de la Saône (Rhône) à l'Est. Par contre les bassins hydrogéologiques sont mal délimités. Cette zone couvre, du SW au NE, le Nivernais, l'Auxerrois, le Tonnerrois, le Châtillonnais, le plateau de Langres où la Seine prend sa source et le Barrois.

Contrastant avec la dépression humide de la Terre-Plaine et du Bassigny, les plateaux calcaires karstiques forment une vaste région d'**aspect aride**. Le chevelu hydrographique est de faible densité. Seules les vallées principales (Yonne et Cure, Serein, Armançon, Seine, Ouche, Aube et Marne) sont riches en eau. Le débit pérenne des cours d'eau est alimenté par les nombreuses sources qui, sur les flancs de leurs vallées, drainent l'aquifère des calcaires.

4.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

Les formations du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois sont caractérisées par le grand développement des calcaires,

compacts ou récifaux, fissurés et karstiques (MÉGNIEU, 1964). Cet ensemble calcaire est le plus épais de toutes les formations carbonatées de la série sédimentaire du bassin de Paris.

Dans le détail, à l'échelle régionale, la lithostratigraphie est très diversifiée, surtout à l'Oxfordien supérieur, par suite du développement local de vastes récifs coralliens (fig. 4.6 et 4.7).

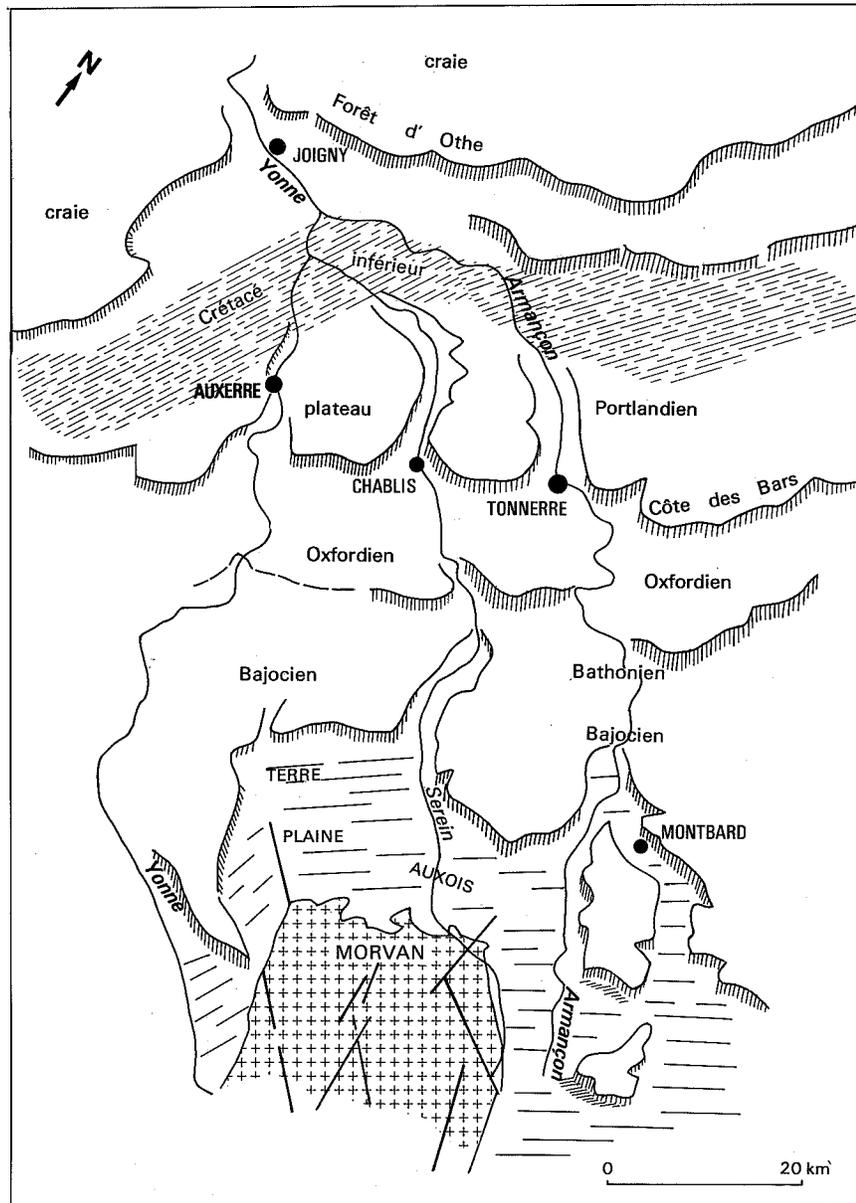
Au Nord d'une ligne Nailly—Mailly-la-Ville—Mailly-le-Château apparaît une **alternance de marnes et de calcaires** (Calcaires de Vermenton) pouvant atteindre 180 m de puissance (fig. 4.3 et 4.7). Excellent repère au milieu de la série calcaire jurassique, cette formation a été datée de l'Oxfordien supérieur (fig. 4.5 et 4.6 et tableau 4.1).

Au Sud apparaissent, sur une épaisseur d'une centaine de mètres, des **calcaires massifs récifaux** compacts ou oolithiques, karstifiés (récifs de Mailly-le-Château) (tableau 4.2 et fig. 4.7). C'est là une variation latérale de faciès typique.

Il existe dans cet ensemble jurassique moyen et supérieur, à dominance calcaire, deux formations semi-perméables rencontrées partout en Basse-Bourgogne et dans le Barrois, avec un faciès constant :

- dans la série inférieure, les *calcaires feuilletés et les marno-calcaires du Bathonien inférieur* ;
- dans la série supérieure, les *marnes et calcaires marneux* du Kiméridgien.

AQUIFÈRE DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BARROIS



D'après Rat, 1972.

Fig. 4.1. — Schéma géomorphologique de la Basse-Bourgogne montrant l'influence des formations calcaires



(Photo A. Perceval)

Fig. 4.2. — *Auréole des affleurements du Jurassique entre Saône et Seine*
Au-dessus et à gauche, le plateau de Langres. Au-dessous et à droite, escarpements dominant la vallée de la Saône (Lias)

AQUIFÈRE DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BARROIS

TABEAU 4.1

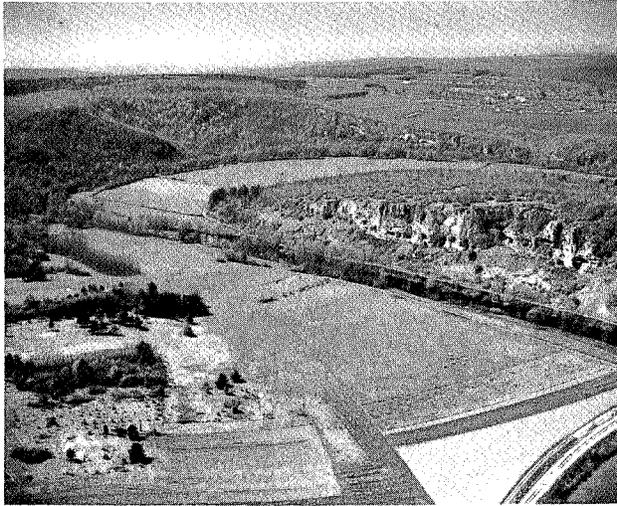
**Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne : Nivernais et Auxerrois.
Région des faciès marno-calcaires de l'Oxfordien supérieur**

Épaisseurs (mètres)	Aquifères karstiques	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie
50-80	Formation calcaire karstique supérieure		PORTLANDIEN
60-120		Marnes et calcaires marneux avec aquifères locaux	KIMÉRIDGIEN
120-150	Formation calcaire karstique		OXFORDIEN
150-200		Alternance de marnes et de calcaires	
260-330	Formation calcaire karstique multicouche moyenne		CALLOVIEN
40-60		Calcaires feuilletés et marno-calcaires	sup. BATHONIEN inf.
10-15	Formation calcaire karstique de base		BAJOCIEN

TABEAU 4.2

**Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen et supérieur du Châtillonnais et du Barrois.
Région des faciès calcaires récifaux de l'Oxfordien supérieur**

Épaisseurs (mètres)	Aquifères karstiques	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie
50-80	Formation calcaire karstique supérieure		PORTLANDIEN
60-120		Marnes et calcaires marneux	KIMÉRIDGIEN
450	Formation calcaire karstique multicouche moyenne		OXFORDIEN
			CALLOVIEN
40-60		Calcaires feuilletés et marno-calcaires	sup. BATHONIEN inf.
10-15	Formation calcaire karstique de base		BAJOCIEN



(Photo A. Perceval)

Fig. 4.3. — Vallée de la Cure. Grottes d'Arcy

Grottes habitées aux temps préhistoriques et creusées dans le calcaire karstique du Jurassique supérieur. Aquifère complexe entre les alluvions et la formation calcaire encaissante. Grosses sources émergeant dans la vallée de la Cure à Vermenton, une dizaine de kilomètres à l'aval.

Tout en constituant d'excellents repères, ces deux intercalations permettent de distinguer, trois ou quatre formations calcaires karstiques plus ou moins complexes, séparées par des assises semi-perméables ou imperméables (fig. 4.1, 4.4, 4.5 et tableaux 4.1 et 4.2). Elles apparaissent nettement dans la morphologie où elles constituent des pla-

teaux à corniches (Côte des Bars en particulier) à regard S.SE et plongeant vers le N.NW (fig. 4.1).

Formation calcaire karstique de base, bajocienne

Les calcaires du Bajocien, fissurés et karstiques, épais d'une quinzaine de mètres, représentent une bonne formation aquifère. Cette barre calcaire constitue le premier plateau et côtes calcaires de l'Auxois, surplombant en corniche la dépression des argiles du Lias que l'on rencontre en se dirigeant des bordures vers le centre du bassin Seine-Normandie (fig. 4.1, 4.4 et 4.5).

Formation calcaire karstique multicouche moyenne

Une épaisse formation calcaire karstique, compacte ou oolithique plus ou moins développée verticalement dans la partie moyenne du Jurassique (350 à 450 m d'épaisseur), constitue un aquifère très puissant, surtout représenté dans le Châtillonnais et le Barrois (tableau 4.2 et fig. 4.4 et 4.5).

Par contre à l'Ouest de la Cure, dans le Nivernais et l'Auxerrois, elle se termine avec les calcaires en dalles du Callovien, recouverts par la formation semi-perméable des marnes et calcaires de l'Oxfordien (tableau 4.1).

Morphologiquement cette puissante série calcaire forme le deuxième plateau du bassin Seine-Normandie (plateau du Châtillonnais) se raccordant au précédent par la pente douce de la formation tendre du Bathonien inférieur.

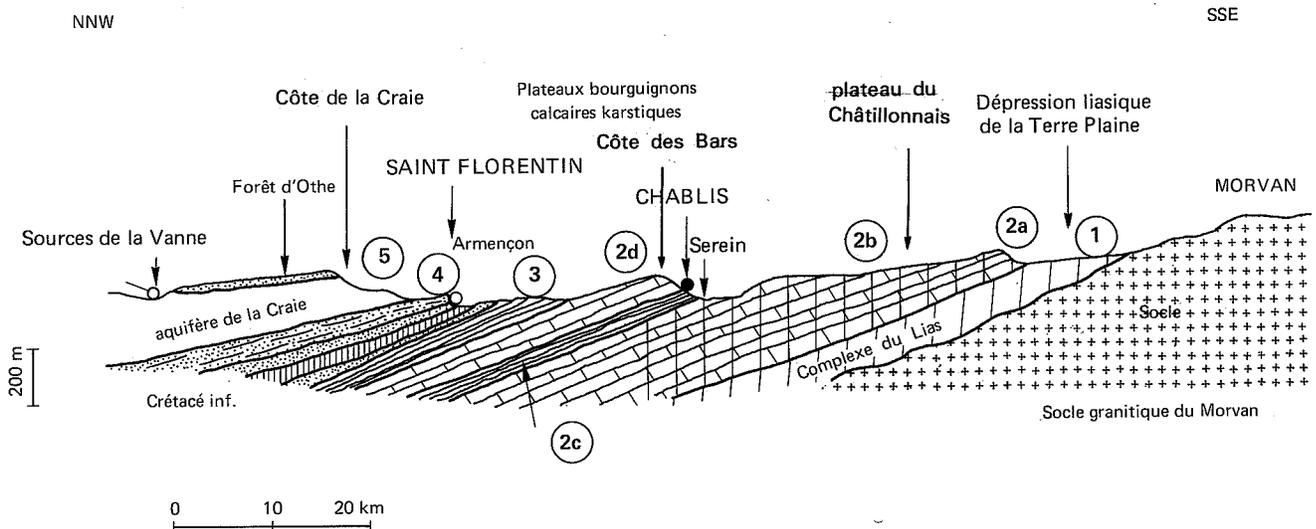


Fig. 4.4. — Succession des formations géologiques, du Morvan à la forêt d'Othe

1 : formation complexe argilo-calcaire du Jurassique inférieur (dépression de la Terre-Plaine); 2a : formation calcaire karstique de base, bajocienne (côte de l'Auxois); 2b : formation calcaire karstique multicouche moyenne du Bathonien supérieur-Callovien-Oxfordien (plateau du Châtillonnais); 2c : formation de marnes et marno-calcaires du Kiméridgien; 2d : formation calcaire karstique supérieure portlandienne (Côte des Bars); 3 : formation argilo-sableuse du Crétacé inférieur; 4 : formation complexe argilo-sableuse albienne; 5 : formation de la Craie. En hachures : roches fissurées aquifères.

EAUX SOUTERRAINES

Formation calcaire karstique de l'Oxfordien supérieur

Cette formation est individualisée uniquement à l'Ouest de la Cure, en Nivernais-Auxerrois, par l'apparition des marnes et calcaires de l'Oxfordien, coupure semi-perméable locale dans le puissant complexe calcaire moyen (tableau 4.1). Elle constitue le troisième plateau.

Formation calcaire karstique supérieure portlandienne

Au-dessus des assises semi-perméables des marnes et calcaires marneux du Kiméridgien (60 à 120 m), présentes dans toute la région, apparaît la puissante formation de calcaires massifs, compacts, sublithographiques, fissurés et karstiques du Portlandien (50 à 80 m). C'est l'ossature du quatrième plateau qui domine par la Côte des Bars, Bar-sur-Aube, Tonnerre, Chablis. C'est un important réservoir aquifère dont le développement affecte toute la bordure est du bassin.

4.3. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'AQUIFÈRE CALCAIRE KARSTIQUE DU JURASSIQUE MOYEN ET SUPÉRIEUR DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BARROIS

La puissante série, essentiellement calcaire, du Jurassique moyen et supérieur, présente en Basse-Bourgogne et en Barrois des roches-réservoirs calcaires karstiques puissantes, permettant la localisation dans leurs fissures et chenaux de vastes réseaux aquifères. Bien alimentées par l'eau des précipitations, elles renferment des réserves en eaux souterraines importantes. Celles-ci, comme dans toute région karstique, jouent par emmagasinement souterrain un rôle régulateur naturel du débit des cours d'eau.

Cet aquifère multicouche est nettement délimité à la base par les argiles du Toarcien (Lias supérieur) et au sommet par la formation argilo-sableuse *semi-perméable* du Crétacé inférieur sous laquelle le Jurassique plonge et s'ennoie au NW.

4.4. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Les formations calcaires karstiques constituent *quatre aquifères*, simples ou complexes, répartis géographiquement du Sud au Nord (tableau 4.3).

Aquifère de base bajocien

Il est bien représenté au Sud. Reposant sur le substratum imperméable des argiles du Toarcien, englobant localement à la base le faible réservoir aalénien, il occupe toute la formation calcaire karstique bajocienne. Celui-ci malgré sa faible épaisseur, 10 à 15 m, constitue par sa grande surface d'affleurement et par le développement de la fissuration et de la karstification, un bon réservoir. Sa position morphologique, en « cuesta », caractérise un aquifère suspendu.

Aquifère multicouche moyen

Ce deuxième aquifère présente, dans sa partie supérieure, un développement différent en Nivernais et en Châtillonnais (tableau 4.3).

L'aquifère principal est essentiellement constitué par la puissante formation **calcaire karstique du Bathonien supérieur-Callovien** (250-330 m), générale sur toute la région, reposant sur la formation semi-perméable du Bathonien inférieur. Les calcaires oolithiques ou compacts, fissurés, forment un karst évolué très développé. Le plateau est parsemé de « mardelles » et de gouffres (gouffres de la forêt

TABLEAU 4.3

Aquifères du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois

Nivernais et Auxerrois	Châtillonnais et Barrois	Chronostratigraphie
Aquifère supérieur		PORTLANDIEN
Formation semi-perméable de marnes et calcaires		KIMÉRIDGIEN
Aquifère de l'Oxfordien supérieur		OXFORDIEN CALLOVIEN BATHONIEN SUPÉRIEUR
Aquifère multicouche moyen		
Aquifère de base		BAJOCIEN

d'Hervault, de la Combe-Sainte-Marie, etc.). Les vallons et les vallées sèches sont nombreux, les eaux de ruissellement s'infiltrant très rapidement.

Dans le Nivernais et l'Auxerrois, l'aquifère principal s'interrompt au sommet du Callovien, recouvert par la formation des marnes et des calcaires de l'Oxfordien où chaque niveau calcaire, reposant sur une intercalation marneuse, constitue un petit niveau d'eau. Par contre dans le Châtillonnais-Barrois il se poursuit vers le haut avec la formation d'une centaine de mètres des calcaires récifaux de l'Oxfordien supérieur.

La partie terminale est, dans toute la région hydrogéologique, constituée par la formation des calcaires karstiques du sommet de l'Oxfordien supérieur. A l'Est elle est séparée à sa base de l'aquifère principal par la formation semi-perméable de l'Oxfordien moyen (tableau 4.1). Ailleurs elle marque le sommet du puissant aquifère multicouche moyen (450 m).

Aquifère supérieur portlandien

A signaler, pour mémoire, quelques niveaux aquifères au sein de la formation kiméridgienne. Le quatrième aquifère a pour roche-réservoir la formation calcaire karstique du Portlandien. La perméabilité des calcaires sublithographiques est due à la présence d'un réseau de *diaclasses* et d'une fissuration produite par de nombreuses *failles* souvent ouvertes par dissolution. La karstification a été active à la fin de la période jurassique, au cours de l'érosion continentale qui a précédé le dépôt des sédiments crétacés, formant un *paléokarst* rajeuni et vivifié au Quaternaire. On observe, dans les diaclasses de la partie supérieure du Portlandien, ce paléokarst fossilisé par les dépôts crétacés.

4.5. SOURCES ET RÉSURGENCES

Aquifère de base bajocien

Des sources nombreuses naissent à la base de la corniche bajocienne au contact du Toarcien. Appartenant pour la plupart au type source de déversement, leur débit modeste est de 100 m³/j en moyenne, quoique dépassant parfois 500 m³/j (planche 1). Les variations de débit sont dans le rapport 1 à 4. Cette ligne de sources, située sur les hauteurs dominant la Terre-Plaine, présente une grande importance économique régionale.

Aquifère multicouche moyen

Les sources de ce puissant aquifère sont peu nombreuses mais de débits élevés dépassant parfois

3 500 m³/j. Elles sont localisées dans les grandes vallées et leur alimentation est souvent très lointaine ainsi que le prouvent les nombreux essais de coloration (planche 1). Ainsi les exurgences de Cry-sur-Armançon semblent provenir des pertes de la Laignes. Des traçages à la fluorescéine ont montré que les eaux du Serein se perdent partiellement, à la traversée du Bathonien, dans les bétoires situées en aval du pont de Tormancy, et resurgissent, soit à l'aval, soit dans la vallée de la Cure à 20 km plus à l'Ouest vers Vermenton. Ces communications souterraines sont mises en évidence par les débits spécifiques d'étiage des deux rivières (0,15 l/s/km² dans le Serein à Chablis et 3,4 l/s/km² dans l'Yonne à Gurgy pour des bassins versants comparables) (CLAIR, 1966). Les vitesses de terrain de l'écoulement souterrain, évaluées par les colorations, sont de l'ordre de 1 300 m/j.

La puissante formation calcaire karstique de l'Oxfordien, à l'Ouest, se comporte dans son ensemble comme un important réservoir aquifère de type karstique. A l'exception de quelques petits aquifères suspendus, les sources apparaissent en grande majorité dans les vallées de la Cure, de l'Yonne, du ru d'Andry, de la Seine, de l'Ouche, de l'Aube et de la Marne à la traversée de l'auréole calcaire (fig. 3.1 et 4.6). Leur débit est très important. Ainsi, sur un total de douze sources le débit d'étiage atteint environ 80 000 m³/j. Parmi les sources remarquables, citons la Druyes avec 20 000 à 30 000 m³/j.

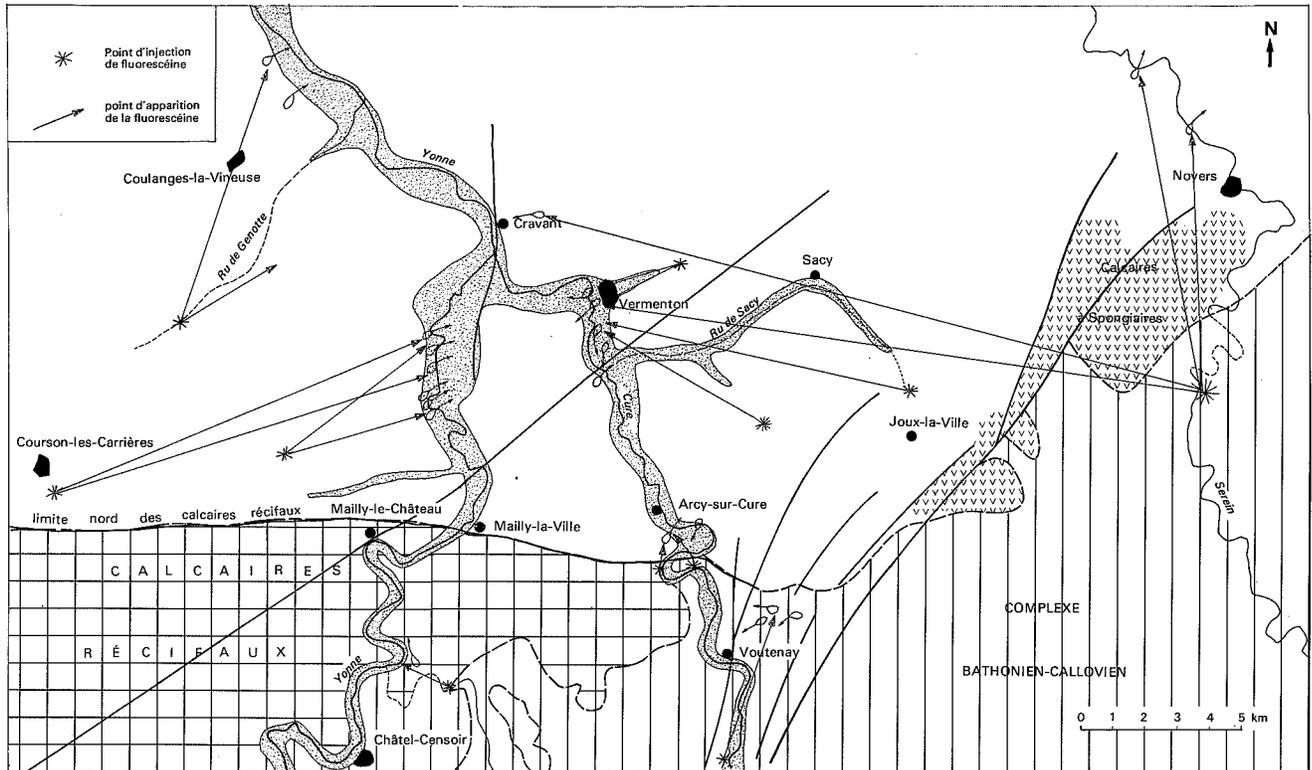
De nombreuses expériences de coloration à la fluorescéine montrent des circulations importantes, indépendantes en général du pendage des couches, passant même assez facilement d'une formation dans l'autre. Ces circulations aboutissent le plus souvent à des sources situées dans les grandes vallées de l'Yonne et de la Cure avant leur confluence (planche 1 et fig. 4.6). Les vitesses de terrain de l'écoulement souterrain sont très constantes, comprises entre 3 000 et 3 600 m/j.

Dans le Châtillonnais, aux abords de Châtillon-sur-Seine, la Seine est alimentée par des exurgences issues de l'aquifère multicouche moyen (Bathonien moyen) (RAT, 1972).

Les résurgences des vallées sèches de la Laignes, entaillées dans le plateau calcaire de l'Oxfordien supérieur, constituent un système karstique type (RAT, 1972).

Aquifère supérieur portlandien

Le nombre des sources et leur débit, pour plus de la moitié supérieur à 1 000 m³/j, montrent le grand intérêt hydrogéologique régional de l'aqui-



D'après RAT, 1972 et la carte géologique au 1/50 000 de Vermenton par Mégien et coll.

Fig. 4.6. — Carte schématique des zones lithologiques du réservoir à l'Oxfordien et principales circulations karstiques

fère portlandien. Nous pouvons distinguer trois types de sources : de déversement au toit des argiles kiméridgiennes, d'émergence à l'aval des vallées sèches, d'émergence à la faveur de failles dans le calcaire soit directement, soit à travers le recouvrement d'alluvions ou d'assises crétacées (groupe des sources de la faille de Villefargeau et de Quenne).

4.6. PIÉZOMÉTRIE

Il n'a pas été possible jusqu'à présent de dresser la carte piézométrique de l'aquifère des calcaires jurassiques de la Basse-Bourgogne et du Barrois en dehors des vallées. Seules ces dernières présentent une densité de puits permettant de tracer des courbes piézométriques. Dans les zones de plateaux, les ouvrages, très rares, sont insuffisants pour vérifier la continuité du plan d'eau souterrain.

Les mesures dans les puits montrent en général une grande amplitude de fluctuation du niveau piézométrique, souvent supérieure à 10 m, sauf dans les grandes vallées où intervient la régularisation par les aquifères alluviaux.

4.7. CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES

Dans cette zone hydrogéologique, la plupart des captages sont réalisés à partir de sources. Pour les besoins des communes rurales, sauf sur les plateaux bathoniens et oxfordiens, le débit exploité est très souvent inférieur aux ressources. Dans les vallées principales, les alluvions procurent des **débites particulièrement élevés** (200 m³/h pour quelques mètres de rabattement) surtout lorsqu'elles reposent sur un substratum calcaire appartenant à l'une des formations aquifères décrites précédemment. Les ressources en eaux souterraines permettent alors de satisfaire les besoins des agglomérations importantes. Ainsi, par exemple, la ville d'Auxerre est alimentée par un aquifère complexe composé des alluvions et de la formation calcaire karstique portlandienne, capté par trois puits d'un débit total de 9 000 m³/j. Les captages étant menacés par l'extension de la zone industrielle, de nouveaux puits sont en cours de réalisation plus à l'amont à la suite d'une prospection détaillée (B. R. G. M.) sur la plaine du Sausse. L'aquifère complexe est composé des calcaires séquaniens (Oxfordien supérieur) et des alluvions. Le débit prévu est de 20 000 m³/j.

4.8. ESSAI DE BILAN

Les données disponibles sont la hauteur de précipitation moyenne annuelle (650-800 mm), et l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle (450-500 mm). Par contre aucune station de jaugeage ne permet d'établir un bilan valable basé, soit sur le déficit d'écoulement, soit sur le débit des sources drainant la totalité d'un aquifère (courbes de tarissement en particulier). Malgré tout, il est établi que certains bassins hydrogéologiques étendus présentent des réserves en eaux souterraines considérables. En effet les variations saisonnières des débits des grandes sources sont faibles pour des aquifères calcaires (sources de Druyes par exemple).

4.9. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

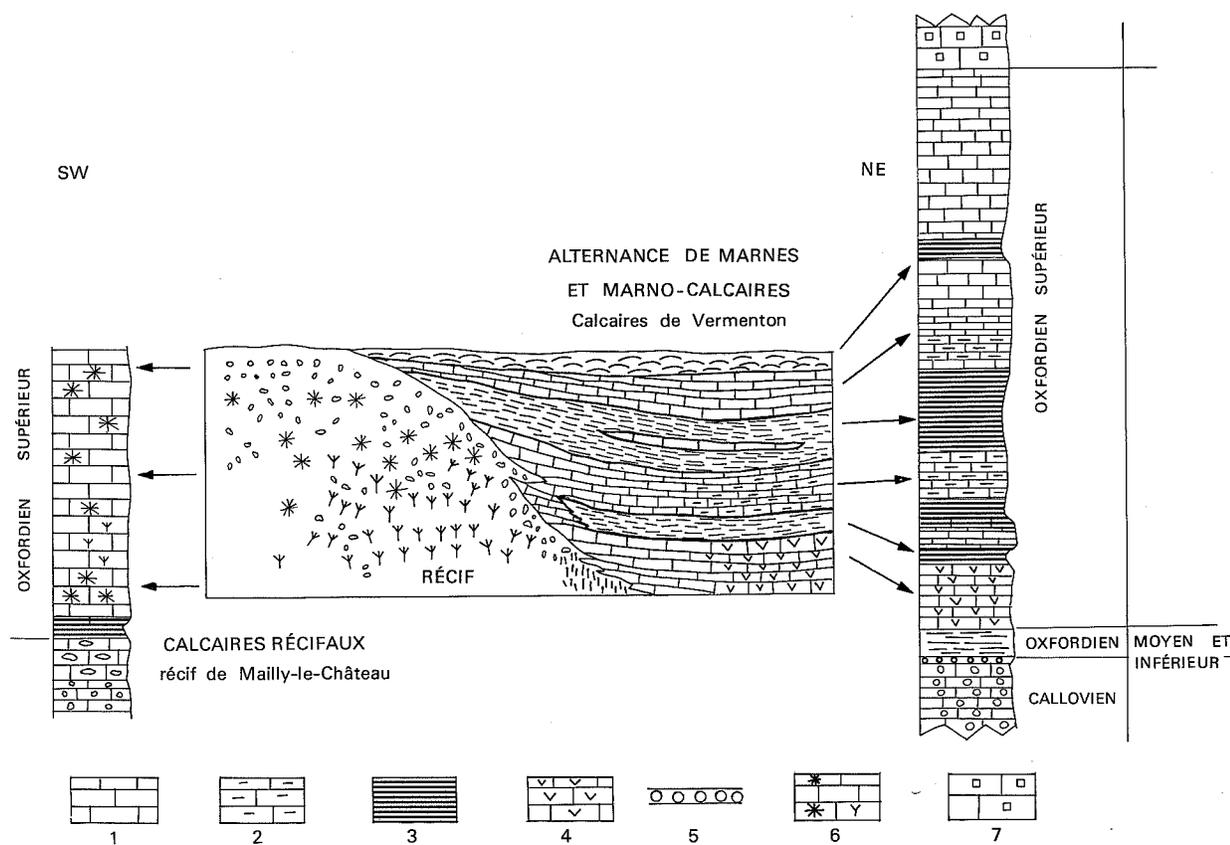
La minéralisation est normale pour des formations calcaires, les eaux sont de type bicarbonaté calcique avec une faible teneur en chlorures et en

sulfates (résistivités de 1 500 à 2 500 ohm.cm), et ne présentent pas de différenciations marquées en rapport avec les différents aquifères. Le degré hydrotimétrique de l'eau est généralement compris entre 20 et 30 degrés français. Les teneurs en magnésium, chlorures, sulfates et nitrates sont toujours très faibles, de l'ordre de quelques milligrammes par litre (fig. 4.8 et 4.9 et tableau 4.4).

4.10. ALIMENTATION NATURELLE

L'alimentation naturelle des aquifères de cette région est réalisée par l'infiltration des eaux des précipitations, sur l'impluvium du bassin hydrogéologique et de celles des rivières. Cette alimentation s'effectue, soit à travers des assises poreuses, soit par de véritables engouffrements.

La lutte contre la pollution de ces aquifères est un problème important car la filtration dans les calcaires karstiques est pratiquement nulle.



D'après RAT, 1972 et la carte géologique au 1/50 000 de Vermenton par Ménégnien et coll.

Fig. 4.7. — Schéma des formations lithologiques du réservoir à l'Oxfordien supérieur. Passage latéral de faciès des calcaires massifs récifaux au S.SW à l'alternance de marnes et de calcaires au N.NW.

- 1 : calcaires sublithographiques ; 2 : calcaires marneux ; 3 : argiles ; 4 : calcaires à Spongiolites ; 5 : oolithes ferrugineuses ; 6 : calcaires à Polypiers ; 7 : entroques

EAUX SOUTERRAINES

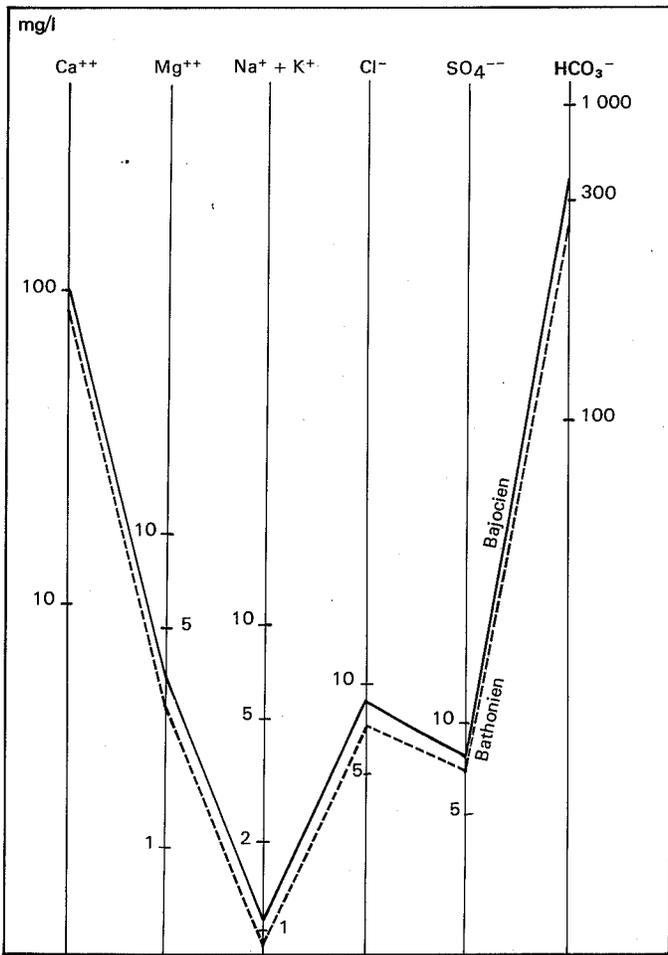


Fig. 4.8. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Jurassique moyen de Basse-Bourgogne

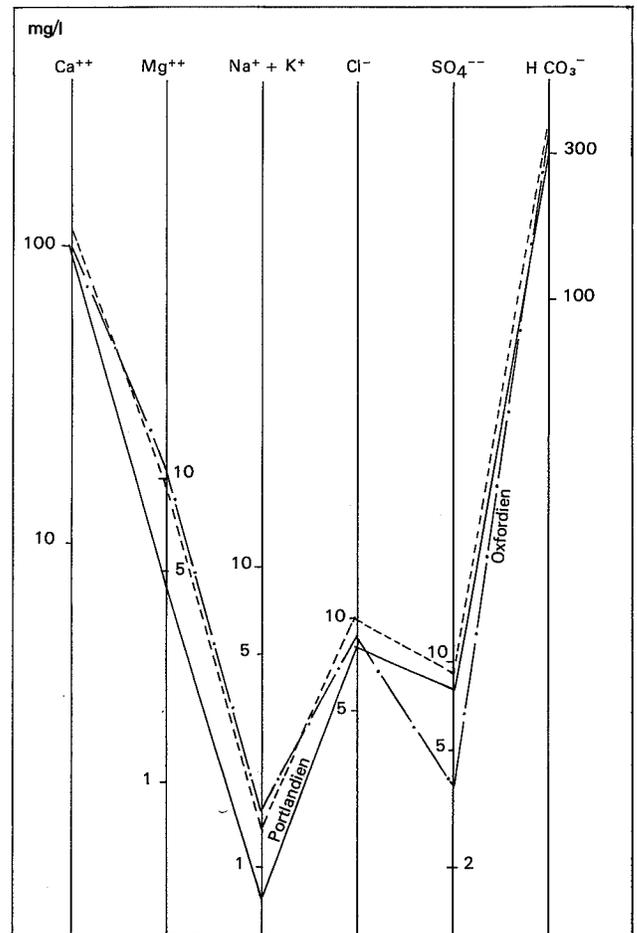


Fig. 4.9. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Jurassique supérieur de Basse-Bourgogne

AQUIFÈRE DE BASSE-BOURGOGNE ET DU BARROIS

TABLEAU 4.4

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère calcaire karstique du Jurassique moyen et supérieur de Basse-Bourgogne et du Barrois

Lithostratigraphie	Localisation	Résistivité ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration mg/l							
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
				CaO		MgO					
Formation calcaire karstique de base, bajocienne	Pouilly-en-Auxois	1 932	27,5	98	7,2	1,5			8,8	7	300
	Montigny-Montfort	1 930	31	116	4,6	2			7,1	9	330
					CaO		MgO				
	Source de Montot	1 910	32,5	174		5,8		0,05	9,5	9,6	
	Source Fontaine-Sœuvre	2 350	27	148		3			4	6,9	
Source de Pouilly	2 350	26	140		6,1		4		7,1		
Formation calcaire karstique complexe moyenne	Voutenay-sur-Cure	1 609	31	121	2,4	2,9	1,5	0,1	10,6	46	316
	Source de la Laignes	1 920	28,5	102	7,2	1,5	0,5		8,8	2,5	314
Formation calcaire karstique de l'Oxfordien supérieur	La Rochepot	1 770	32	122	4,8	2,5	12,5	0,4	12,4	23	330
	Courson-les-Carrières	1 870	29	108	6,6	2,8	2		8,8	6	346
	Semezanges	1 736	33	106	27				14,2	21	
					CaO		MgO				
	Source du Parc	2 490	24	128		7		7	7	2	
Formation calcaire karstique supérieure portlandienne	Lacey-sur-Ving	1 554	34,5	122	9,6	1,5			10,6		374
	Noiron-sur-Bèze	2 223	29,5	108	6				10,6	9	308
	La Chapelle-Vieille-Forêt	1 620	35	112	16,8	5	2		19,5	58	318
					CaO		MgO				
	Source Fontaine Milard	2 050		161		11					
Source du Jonc à Gy-Lévêque	2 130		139		7,2			8	13		
								7	8,2		

AQUIFÈRE CALCAIRE KARSTIQUE DU JURASSIQUE SUPÉRIEUR (MALM) DE LORRAINE

5.1. CADRE GÉNÉRAL

La fermeture orientale du bassin de la Seine au NE est assurée par les formations jurassiques de Lorraine (fig. 5.1). La limite des bassins hydrogéologiques entre Seine et Meuse est difficile à tracer car elle se matérialise dans les masses calcaires karstiques (fig. 5.2). Seules les formations calcaires du Jurassique supérieur (Oxfordien supérieur à Portlandien) sont directement intéressées, la perméabilité de la roche-réservoir diminuant très rapidement avec la distance aux affleurements.

Cette région est traversée par les vallées de l'Aire, de l'Ornain et de la Saulx, lesquelles entaillent profondément les assises du Jurassique supérieur.

5.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

La grande masse calcaire jurassique correspond au prolongement vers le NE des formations de l'Oxfordien supérieur (Séquanien), du Kiméridgien

et du Portlandien, reconnues au SW en Barrois (fig. 5.2 et 5.3). A noter seulement quelques variations latérales de faciès au Kiméridgien provoquant l'augmentation des dépôts calcaires.

5.3. HYDROGÉOLOGIE

Les formations calcaires karstiques permettent la localisation de *trois aquifères* d'importance variable :

- l'aquifère de l'Oxfordien supérieur (Séquanien) à la base;
- l'aquifère du Kiméridgien inférieur;
- l'aquifère supérieur du Portlandien.

Aquifère de l'Oxfordien supérieur (Séquanien)

Peu important, il alimente des sources à faible débit, exception faite de la vallée de l'Aire, en amont de Chaumont-sur-Aire. La perméabilité du réservoir est de 2.10^{-8} à 4.10^{-7} m/s.

TABLEAU 5.1

Lithostratigraphie sommaire du Jurassique supérieur de Lorraine

Épaisseurs (mètres)	Aquifères karstiques	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie
140-150	Formation calcaire karstique supérieure		PORTLANDIEN
		Argiles avec quelques bancs calcaires	KIMÉRIDGIEN
	Formation calcaire Calcaires blancs	Caillasses	
	Formation calcaire		OXFORDIEN SUPÉRIEUR (SÉQUANIEN)

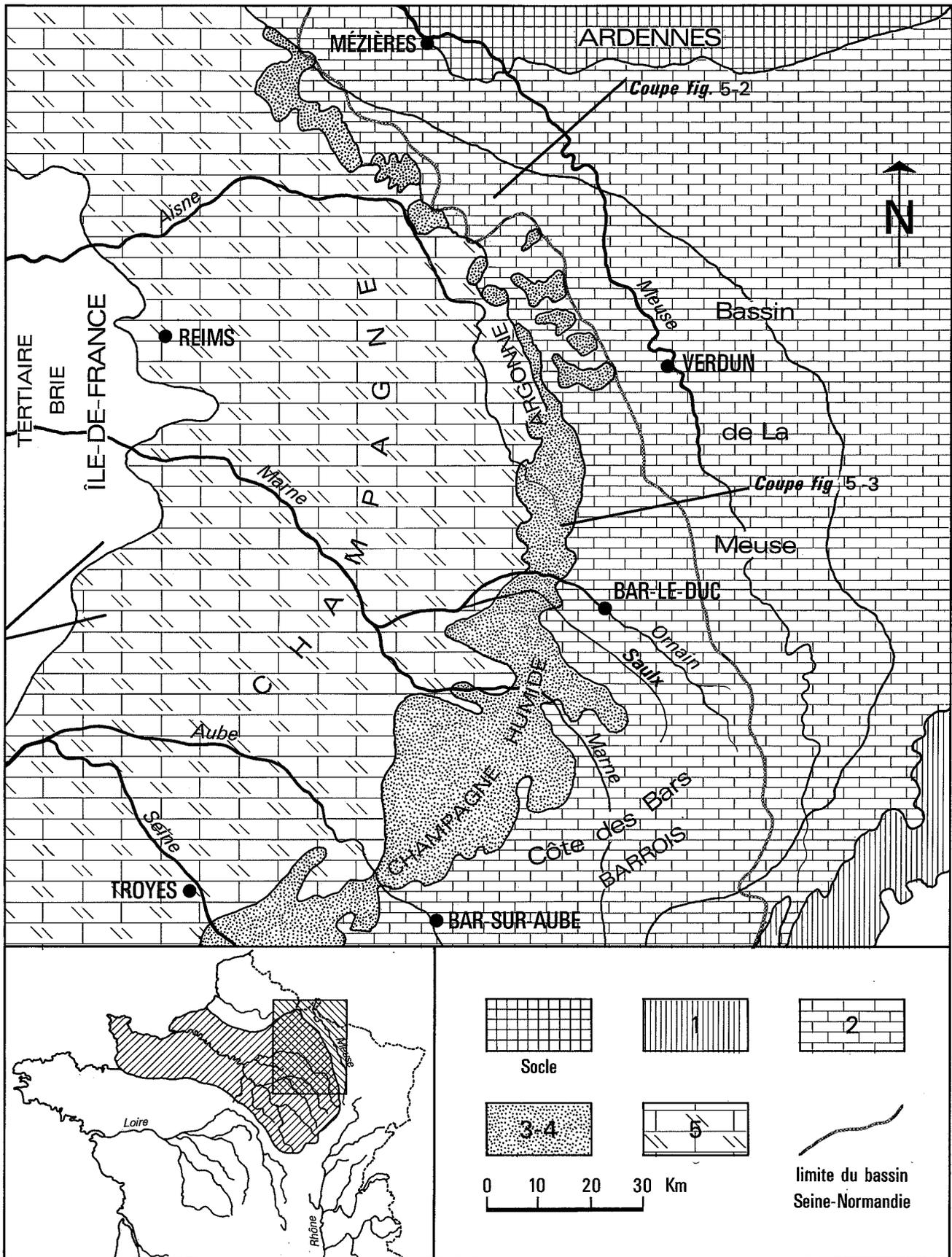


Fig. 5.1. — Carte schématique de la répartition des formations du Jurassique supérieur et du Crétacé de Lorraine

- 1 : formation complexe argilo-calcaire du Lias du Bassin; 2 : formation calcaire karstique du Jurassique moyen et supérieur; 3-4 : formation argilo-sableuse du Crétacé inférieur (Argonne); 5 : formation de la Craie de Champagne

EAUX SOUTERRAINES

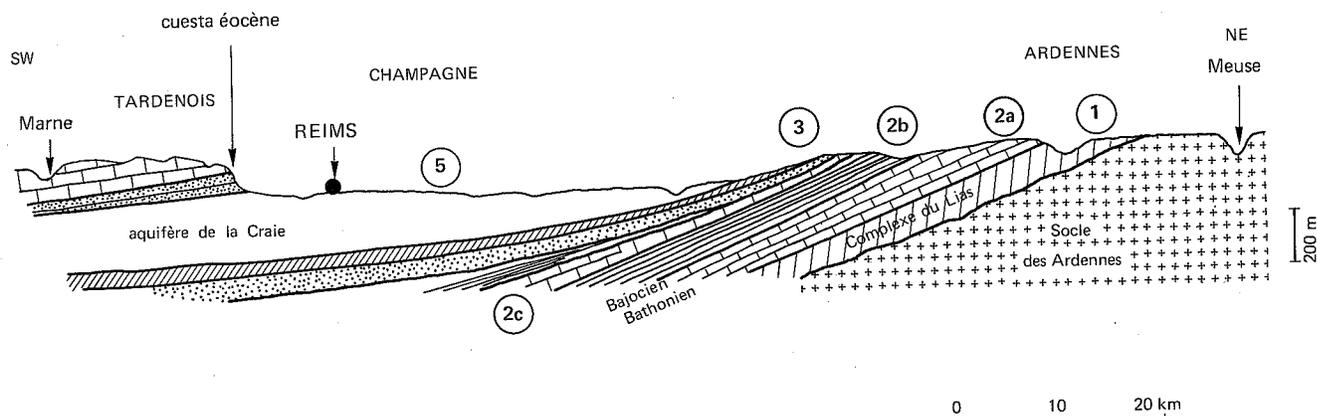


Fig. 5.2. — Succession des formations géologiques du socle des Ardennes vers le centre du bassin de Paris

1 : formation complexe argilo-calcaire du Lias ; 2a : formation calcaire du Jurassique moyen ; 2b : formation argilo-calcaire de l'Oxfordien ; 2c : formation calcaire karstique supérieure ; 3 : formation argilo-sableuse du Crétacé inférieur ; 5 : formation de la Craie.

Aquifère du Kiméridgien inférieur

La formation calcaire du Kiméridgien inférieur donne naissance à un aquifère alimentant de nombreuses sources, en particulier au Nord de la région. Au Sud elles sont rares et de faible débit.

Aquifère supérieur du Portlandien

L'aquifère le plus important a pour gisement la formation calcaire karstique portlandienne, puissante de 140 à 150 m. Il est à l'origine de nombreuses sources, en particulier dans les vallées de l'Ornain et de la Saulx, captées pour les besoins communaux. Leur régime est souvent irrégulier avec, pour certaines, tarissement en été. Les ressources en eaux souterraines de ces calcaires dues, comme en Barrois, au développement d'un réseau de fissures et au rajeunissement d'un paléokarst anté-crétacé, sont importantes (exemple des deux forages de Laimont débitant chacun plus de 100 m³/h avec faible rabattement qui s'adressent aux eaux de ce paléokarst, captives sous le Crétacé inférieur argileux).

5.4. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

La résistivité de l'eau varie de 1 500 à 2 000 ohm.cm et le degré hydrotimétrique atteint 30 à 40 degrés français.

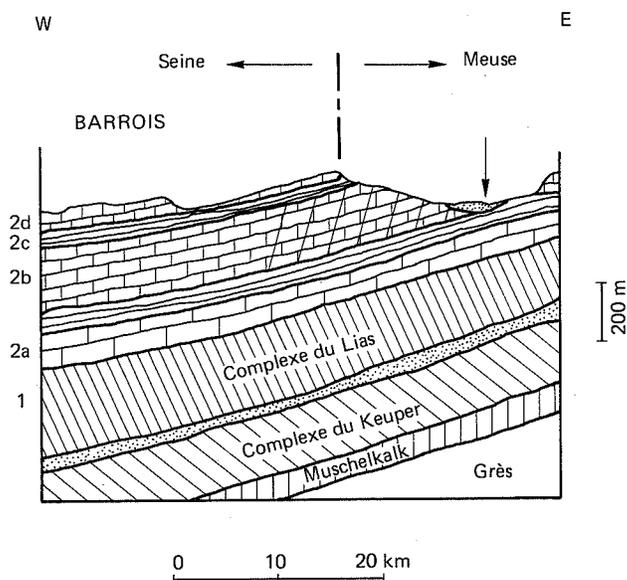


Fig. 5.3. — Principales formations et roches-réservoirs du Jurassique de Lorraine

Au-dessus du complexe argilo-calcaire du Lias ; 2a : formation calcaire du Bajocien ; 2b : formation calcaire du Bathonien ; 2c : formation d'argiles, avec bancs calcaires, du Kiméridgien ; 2d : formation calcaire karstique supérieure. Seule la formation supérieure intéresse le bassin Seine-Normandie.

AQUIFÈRE CALCAIRE KARSTIQUE MULTICOUCHE DU JURASSIQUE MOYEN (DOGGER) DE BASSE-NORMANDIE

6.1. CADRE GÉNÉRAL

En Basse-Normandie, la plaine de Caen (Campagnes de Caen, de Falaise et d'Argentan) est un relief tabulaire formé par les terrains jurassiques du Lias et du Dogger reposant sur le socle primaire

plissé. Cette région hydrogéologique est limitée au Nord par la Manche, à l'Ouest par le golfe de Carentan, au Sud par la ville de Falaise et à l'Est par la Dives. Sa superficie est de 1 500 km² environ. La région méridionale marque la limite avec le bassin versant de la Loire (fig. 6.1 et planche 2).

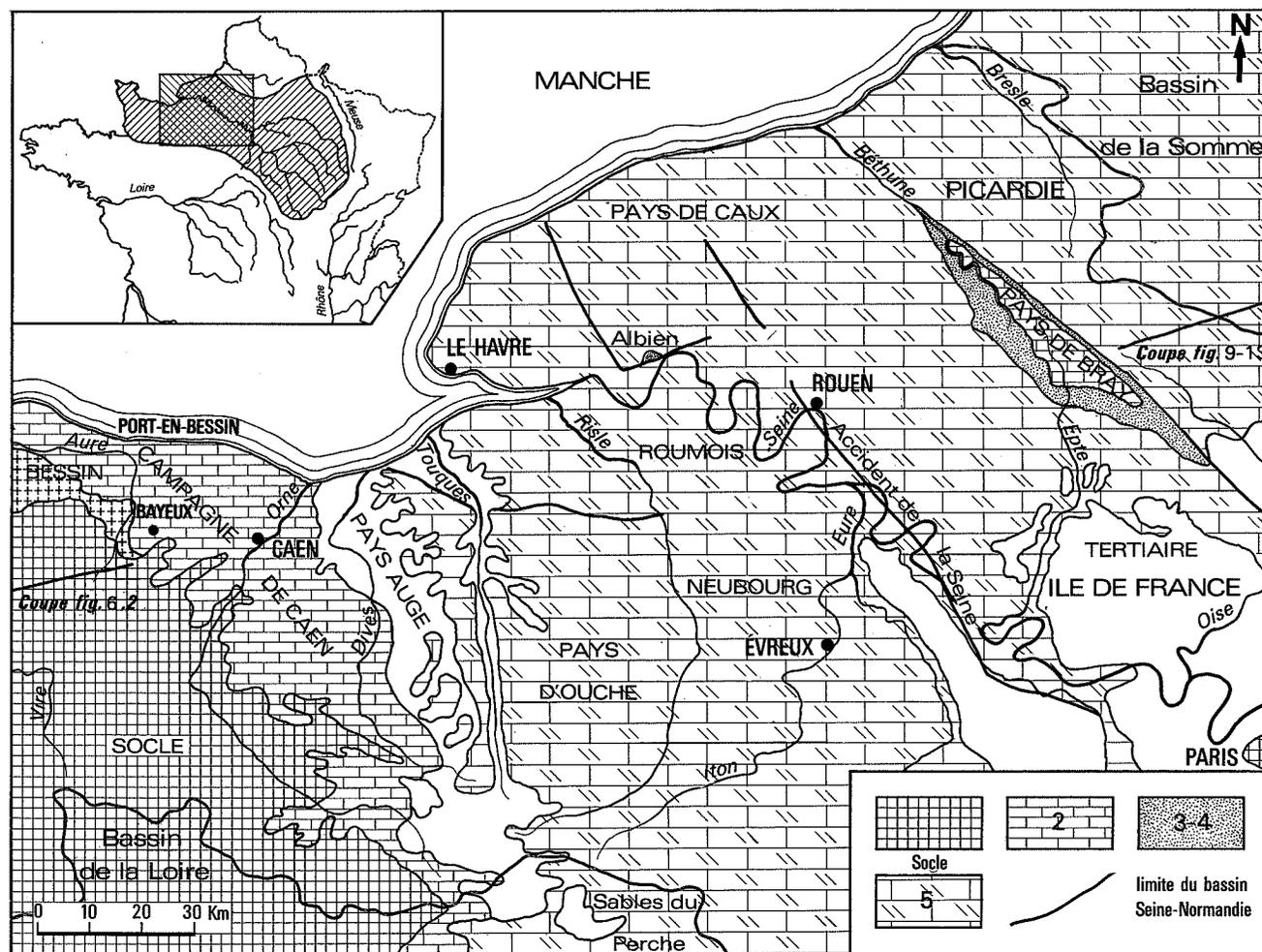


Fig. 6.1. — Carte schématique de la répartition des formations géologiques de Picardie-Normandie

2 : formations du Jurassique moyen ; 3-4 : formations du Jurassique supérieur (Sables de Glos) et du Crétacé inférieur ;
5 : formation de la Craie

EAUX SOUTERRAINES

Du point de vue hydrographique la plaine de Caen correspond aux bassins de la Mue, du Laisou et de la Muance. Elle comprend une partie des bassins de l'Orne, de l'Aure et de la Seulles.

6.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

La plaine de Caen est constituée par les formations jurassiques karstiques affectées d'un pendage régulier vers le NE (fig. 6.2). Cet ensemble repose sur un socle précambrien (phyllades briovériennes) et recouvre les synclinaux de terrains primaires, parallèles, de direction W.NW-E.SE (synclinal de May-sur-Orne, synclinal d'Urville).

Formations du Trias et du Lias

De même que sur la bordure orientale, en Terre-Plaine et en Basse-Normandie, les formations du Trias et du Lias, généralement marneuses et argileuses, sont peu propices à la localisation de roches-réservoirs importantes. Nous citerons comme contenant localement des réserves d'eau exploitables plus ou moins importantes :

- les bancs de calcaires grossiers du Domérien d'une épaisseur de l'ordre de 5 m (Banc de Roc);

- les bancs de calcaires marneux du sommet du Toarcien d'une épaisseur de l'ordre de 7 m.

Formations du Jurassique moyen

La série du Jurassique moyen de Basse-Normandie, puissante d'une centaine de mètres, essentiellement calcaire, montre trois formations calcaires karstiques séparées par des assises semi-perméables (tableau 6.1).

La formation semi-perméable des marnes du Bathonien inférieur pouvant atteindre 30 à 40 m de puissance à Port-en-Bessin, passe latéralement et progressivement vers Caen à des calcaires marneux, puis à un calcaire tendre à l'Est de la Thue, la « pierre de Caen ». De telle sorte que dans cette région la formation calcaire de base se poursuit en continuité avec la formation calcaire supérieure constituant une masse unique, puissante d'une centaine de mètres.

6.3. HYDROGÉOLOGIE

Les formations calcaires karstiques, reconnues par la lithostratigraphie, constituent deux grands aquifères multicouches.

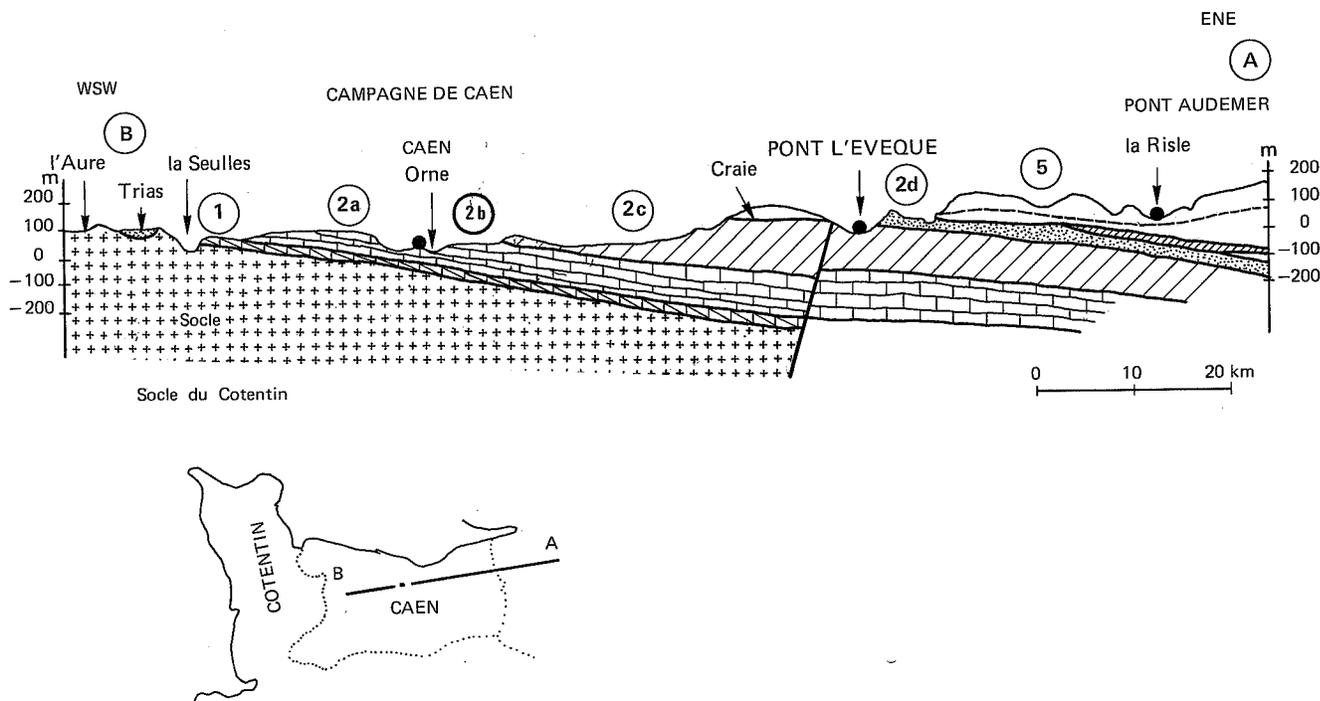


Fig. 6.2. — Succession des formations géologiques, du socle du Cotentin à la Basse-Normandie

1 : formations du Trias et du Lias ; 2a : formation calcaire multicouche de base (Aalénien-Bajocien) ; 2b : formation calcaire multicouche supérieure (Bathonien moyen) ; 2c : formation complexe du Jurassique supérieur (sans aquifères étendus) ; 2d : Sables de Glos (aquifère captif) ; 5 : formation de la Craie.

TABLEAU 6.1

Lithostratigraphie sommaire du Jurassique moyen de Basse-Normandie

Épaisseurs (mètres)	Aquifères karstiques	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie	
	Formation calcaire (pierre de Langrune)		supérieur	BATHONIEN
		Marnes		
	Formation calcaire multicouche supérieure		moyen	
30-40	Calcaires tendres plus ou moins marneux : pierre de Caen	Marnes avec calcaires, dites de Port-en-Bessin	inférieur VÉSULIEN	
20-30	Formation calcaire multicouche de base		BAJOCIEN	
			AALÉNIEN	
		Argiles	TOARCIEN	

Aquifère multicouche inférieur bajocien

Il est situé dans la formation calcaire complexe de base, Aalénien-Bajocien, d'une puissance de 20 m. C'est un réseau aquifère développé dans la fissuration avec karstification intense sous les vallées (par exemple, la cuvette de Port-en-Bessin).

Cet aquifère est libre dans la région de Bayeux entre l'Aure et la Seulles et au SW de Caen dans la vallée de l'Orne. Ailleurs il est captif sous le toit des marnes de Port-en-Bessin. Autrefois les eaux étaient artésiennes dans la plaine de Caen.

Aquifère multicouche supérieur bathonien

Il est situé dans la formation calcaire complexe supérieure. C'est le plus important de la région de Caen. Son substratum est représenté par les bancs de calcaires marneux de la pierre de Caen ou les marnes de Port-en-Bessin (Vésulien). C'est un aquifère libre multicouche fragmenté par des bancs de caillasses interstratifiés.

6.4. PIÉZOMÉTRIE ET FLUCTUATION DE LA SURFACE PIÉZOMÉTRIQUE

Aquifère multicouche inférieur bajocien

Dans la nappe libre les courbes piézométriques très festonnées épousent la topographie. L'écoulement souterrain s'effectue des plateaux vers les vallées où le drainage est très accusé. Les gradients hydrauliques sont faibles dans les vallées ($4 \text{ à } 6.10^{-3}$) et plus forts sous les plateaux ($10 \text{ à } 20.10^{-3}$).

Aquifère multicouche supérieur bathonien

Dans l'ensemble la surface piézométrique, dont la morphologie épousé les grands traits de la topographie, est régulière et moins festonnée que pour l'aquifère inférieur. Ceci traduit une meilleure perméabilité. L'écoulement souterrain s'effectue des plateaux vers les vallées, toutes les rivières drainant l'aquifère. D'importantes zones de drainage correspondent également à certains vallons secs (Cormelles, Hérouville, Carpiquet, etc.).

Les gradients hydrauliques varient de $6 \text{ à } 40.10^{-3}$, les valeurs les plus faibles correspondant aux vallées et vallons.

Les limites des bassins hydrogéologiques sont voisines de celles des bassins hydrographiques, à l'exception de ceux de la Mue et de la rivière de Janville dont les eaux souterraines sont partiellement captées par l'Orne inférieure.

Au cours des années 1965 et 1966, les niveaux piézométriques ont été mesurés mensuellement dans 45 puits.

Aquifère inférieur bajocien

Le niveau maximal de la surface piézométrique est atteint en janvier-février. Le niveau minimal, ou étiage, s'étale d'août à novembre. La recharge dure 2 à 3 mois alors que la vidange s'effectue pendant 7 à 10 mois. L'amplitude des fluctuations est de 1-2 m dans les vallées et de 10 m sous les plateaux.

Aquifère supérieur bathonien

Le niveau maximal est observé de janvier à mars et le niveau minimal d'octobre à novembre. Les eaux souterraines sont uniquement alimentées par les pluies d'automne et d'hiver. L'amplitude des fluctuations est de 0,50 à 2 m dans les vallées et de plus de 5 m sous les plateaux.

6.5. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Les débits spécifiques des puits varient de 0,1 à 58 m³/h/m dans l'aquifère multicouche inférieur bajocien. Pour l'aquifère multicouche supérieur le débit spécifique de 60 ouvrages dépasse 30 m³/h/m dans 22 des cas, 100 m³/h/m dans 9 et exceptionnellement 200 m³/h/m (forage n° 2 de Mondeville avec 1 204 m³/h/m). Les puits productifs sont situés dans les vallées ou vallons secs.

Le karst est bien développé, les pertes des cours d'eau étant fréquentes. L'exemple le plus caractéristique est celui des pertes de l'Aure supérieure et de la Drôme aux fosses de Soucy à 3 km au Sud de Port-en-Bessin. Ces deux cours d'eau disparaissent totalement tant que leur débit est inférieur à 9 m³/s. Plusieurs essais de coloration ont montré que les eaux souterraines s'écoulaient sous la cuvette de Port-en-Bessin, dans la formation calcaire bajocienne avec une vitesse de 9 600 à 20 000 m/j. Les émergences apparaissent sur 2 km de littoral.

L'étude des courbes de tarissement pour les bassins dans le Jurassique moyen a permis de déterminer des coefficients d'emmagasinement compris entre 0,08 et 0,13.

6.6. SOURCES

Aquifère inférieur bajocien. Les sources de cet aquifère ne présentent qu'un intérêt limité. Lors des jaugeages en 1966 sur 45 sources, 10 avaient un débit supérieur à 5 l/s. A l'étiage de septembre 1966 le débit souterrain était de 200 l/s dans la vallée de l'Aure et de 400 l/s dans celle de la Seullès. En amont de Caen il faut signaler deux sources importantes : la source du Bourbillon dans le lit de l'Orne et celle des Quatre Carabines dans le lit de l'Odon.

Aquifère supérieur bathonien. Plusieurs émergences ont un débit de 25 à 75 l/s, la plus importante étant la source du Vieux Clocher à Bretteville-sur-Odon.

6.7. CAPTAGES

Les débits obtenus dans l'aquifère inférieur varient de 3 à 33 m³/h. Dans la vallée de l'Orne, les forages produisent de 120 à 520 m³/h. Les meilleurs débits pour les ouvrages captant l'aquifère supérieur sont de l'ordre pour chacun de 300 m³/h à Thaon, Mondeville et Hérouville.

L'acidification peut augmenter considérablement le rendement des ouvrages. Par exemple, sur le plateau est de Caen, deux acidifications ont accru le débit de 15 à 120 m³/h pour un sondage et de 9 à 110 m³/h pour l'autre.

6.8. PRÉLÈVEMENTS

- En 1966 les prélèvements étaient évalués à :
- aquifère inférieur : 2 200 m³/j dans la nappe libre (prélèvements domestiques) et 4 000 m³/j dans la nappe captive (usages industriels);
 - aquifère supérieur : 33 000 m³/j pour les besoins domestiques et 45 000 m³/j pour les usages industriels.

6.9. ESSAI DE BILAN

Le bilan du bassin de la Mue n'a pu être établi que pour la période 1964 à 1966; il est cité à titre d'exemple (tableau 6.2).

TABLEAU 6.2

Bilan du bassin de la Mue.
Moyenne des années 1964 à 1966

Alimentation (mm)	Sorties ou pertes (mm)
Précipitations 855	Débit d'écoulement . . 185
Infiltration 250	Évapotranspiration réelle 605
Variation de la réserve : 65 mm	

6.10. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont dures, carbonatées calciques, de pH légèrement basique. Dans la basse vallée de l'Orne, l'aquifère se charge en chlorures provenant de l'invasion des eaux salées marines, particulièrement en période d'étiage.

ÀQUIFÈRE MULTICOUCHE DU NÉOCOMIEN-BARRÉMIEN

7.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES FORMATIONS DU CRÉTACÉ INFÉRIEUR

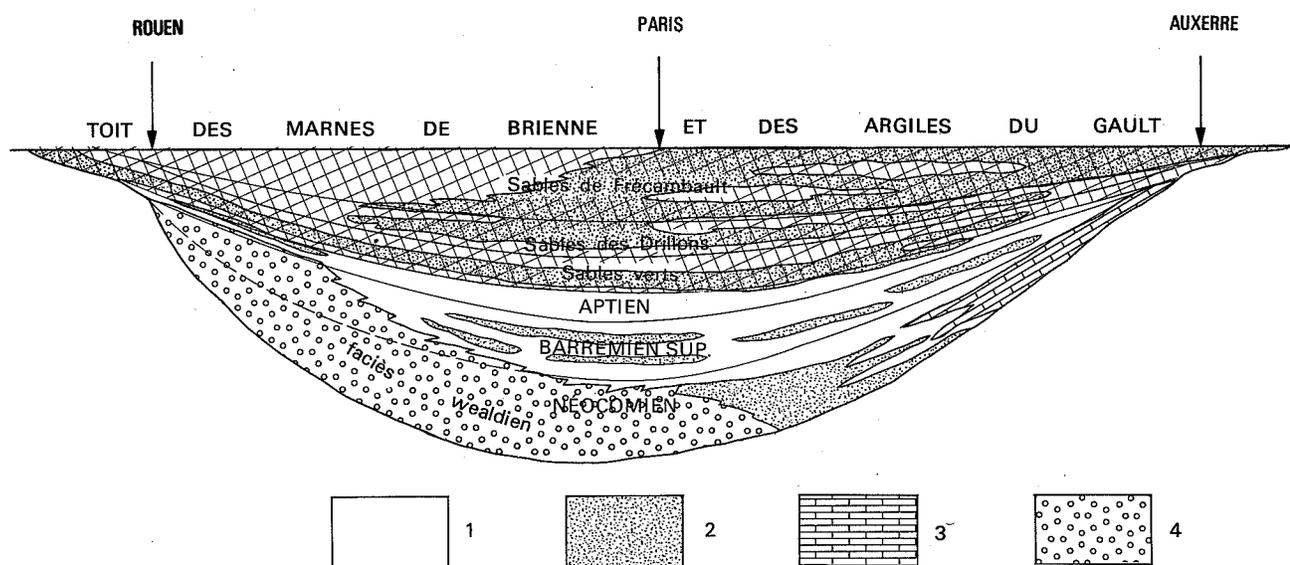
La série sédimentaire du Crétacé débute par les formations de grès, sables, sables argileux, argiles sableuses et argiles du Néocomien-Barrémien-Aptien-Albien, bien développées en profondeur sur l'ensemble

du bassin de Paris, soit sur plus de 100 000 km² (fig. 7.1 et tableau 7.1).

Les affleurements forment une auréole de terrains, déprimés et marécageux sur la bordure orientale, de Rethel au NE à Bourges au SE, en passant par l'Argonne, la Champagne humide et la Puisaye. Ils sont également connus à l'Ouest, mais sur des

N-NW

S-SE



D'après Sarocchi et Lévy-Lambert, 1967.

Fig. 7.1. — Coupe transversale schématique du bassin de Paris représentant la structure du réservoir au Crétacé inférieur
1 : argile ; 2 : sables et grès ; 3 : calcaire ; 4 : dépôts argilo-sableux de faciès wealdien (Néocomien).
En hachures : aquifère multicouche de l'Albien

TABLEAU 7.1

Lithostratigraphie du Crétacé inférieur du bassin de Paris

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie	
40-80		Marnes de Brienne Argiles plastiques du Gault	supérieur	ALBIEN
	<i>Formation multicouche albienne</i> sables à intercalations d'argiles sableuses		moyen et inférieur	
0-50		Argiles plastiques et marnes sableuses avec quelques bancs de grès lenticulaires	APTIEN	
20-90	<i>Formation multicouche barrémienne</i> d'argiles bariolées à intercalations de grès et de sables lenticulaires		BARRÉMIEN SUPÉRIEUR	
		Argiles et bancs de calcaires à lumachelles	BARRÉMIEN INFÉRIEUR	
20-100	FACIÈS CONTINENTAL WEALDIEN centre du bassin <i>Formation multicouche de base</i> d'argiles sableuses, bariolées avec intercalations de grès fins peu consolidés	FACIÈS MARINS affleurements Alternance de calcaires marneux et d'argiles	NÉOCOMIEN	
Formations jurassiques du substratum variables suivant les régions				

surfaces plus réduites à l'embouchure de la Seine, dans le Boulonnais et le Pays de Bray (fig. 7.2). Leur superficie totale atteint environ 950 km² (planche 2).

Partant des affleurements, les formations s'enfoncent progressivement vers le centre du bassin (fig. 2.2 et 7.1). Elles constituent ainsi un vaste réservoir complexe, dont la lithostratigraphie et les dimensions sont connues par les données des prospections géophysiques et des nombreux forages de recherche d'eau et de pétrole.

Le substratum de ces formations est complexe, les dépôts du Crétacé inférieur reposent, en transgression, sur une vaste surface d'érosion post-jurassique ayant aplani les reliefs, marqués en particulier par les *paléokarsts* du Portlandien décrits précédemment. C'est ainsi qu'apparaissent successivement, d'Est en Ouest, des auréoles de terrains jurassiques de plus en plus anciennes de telle sorte que les aquifères de base du Crétacé jouent le rôle de drain des formations antérieures sous-jacentes (fig. 7.2).

Les eaux souterraines sont en majeure partie drainées vers le N.NW par la Seine et ses affluents. Toutefois deux zones de drainage apparaissent également, au Nord en direction de la Manche dans la

Picardie-Pays de Caux et au Sud vers la Loire avec le relais des sables cénomaniens.

7.2. HYDROGÉOLOGIE GÉNÉRALE ET AQUIFÈRES DU NÉOCOMIEN-BARRÉMIEN

Dans le Crétacé inférieur il est possible d'identifier les formations lithostratigraphiques décrites dans le tableau 7.1 et la figure 7.3.

Aquifère multicouche des sables néocomiens

L'étage de base du Crétacé inférieur, le Néocomien, est connu sous deux faciès (fig. 7.4). En affleurements à l'Est dans l'auréole crétacée, les dépôts marins constituent, sur une vingtaine de mètres de calcaires et de marno-calcaires, une formation semi-perméable ou imperméable sans intérêt. Par contre vers le N.NW et l'Ouest, en profondeur au-delà d'une ligne Reims-Fontainebleau, la sédimentation marine fait place à des dépôts continentaux (faciès Wealdien) de sables, grès et argiles bariolées (fig. 7.1 et 7.4). Le Wealdien ne dépasse pas à l'Ouest la limite Cambrai-Amiens-Évreux. Les réservoirs sableux envahissent tout l'étage qui s'épaissit dans la région parisienne (100 m de puis-

AQUIFÈRE DU NÉOCOMIEN-BARRÉMIEN

sance sous la Brie et Fontainebleau). Le terme, *épaisseur des sables utiles*, souvent utilisé, représente les épaisseurs cumulées de chaque intercalation sableuse. Elle est de 40 m au centre. La profondeur maximale de la base de la formation est de 1 000 m sous la Brie et de 800 m sous Paris et Fontainebleau.

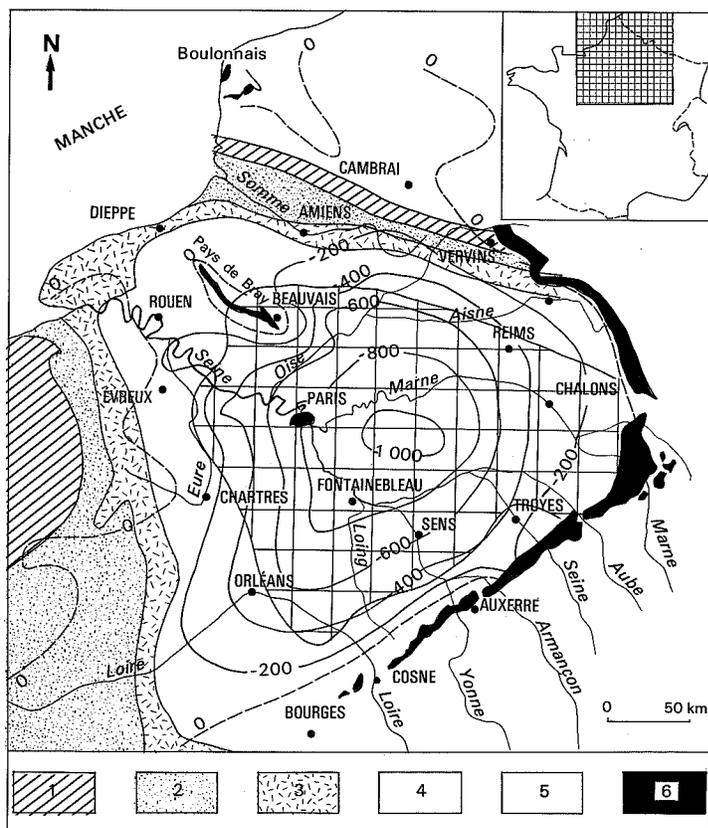
Cet aquifère communique avec les niveaux sous-jacents dans toute la partie occidentale du bassin. De même les argiles sableuses semi-perméables du Barrémien inférieur, constituant le toit, sont localisées au NW; dans le centre il y a continuité entre les réservoirs néocomiens et barrémiens.

Cet aquifère a été atteint par les sondages profonds de Poissy, Ivry-Daumesnil, Pantin et O. R. T. F. C'est dans cette formation qu'est réalisé le *réservoir souterrain de gaz naturel de Beynes*.

Aquifère multicouche des sables du Barrémien supérieur

Le Barrémien supérieur est représenté par une formation complexe d'argiles bariolées à intercalations de grès peu consolidés avec, au sommet, un niveau gréseux continu d'une dizaine de mètres poursuivant les dépôts wealdiens (fig. 7.5). Sa puissance totale passe de 20 m aux affleurements à 80 m sous Fontainebleau. L'épaisseur des grès utiles n'excède pas 25 mètres.

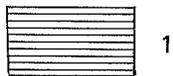
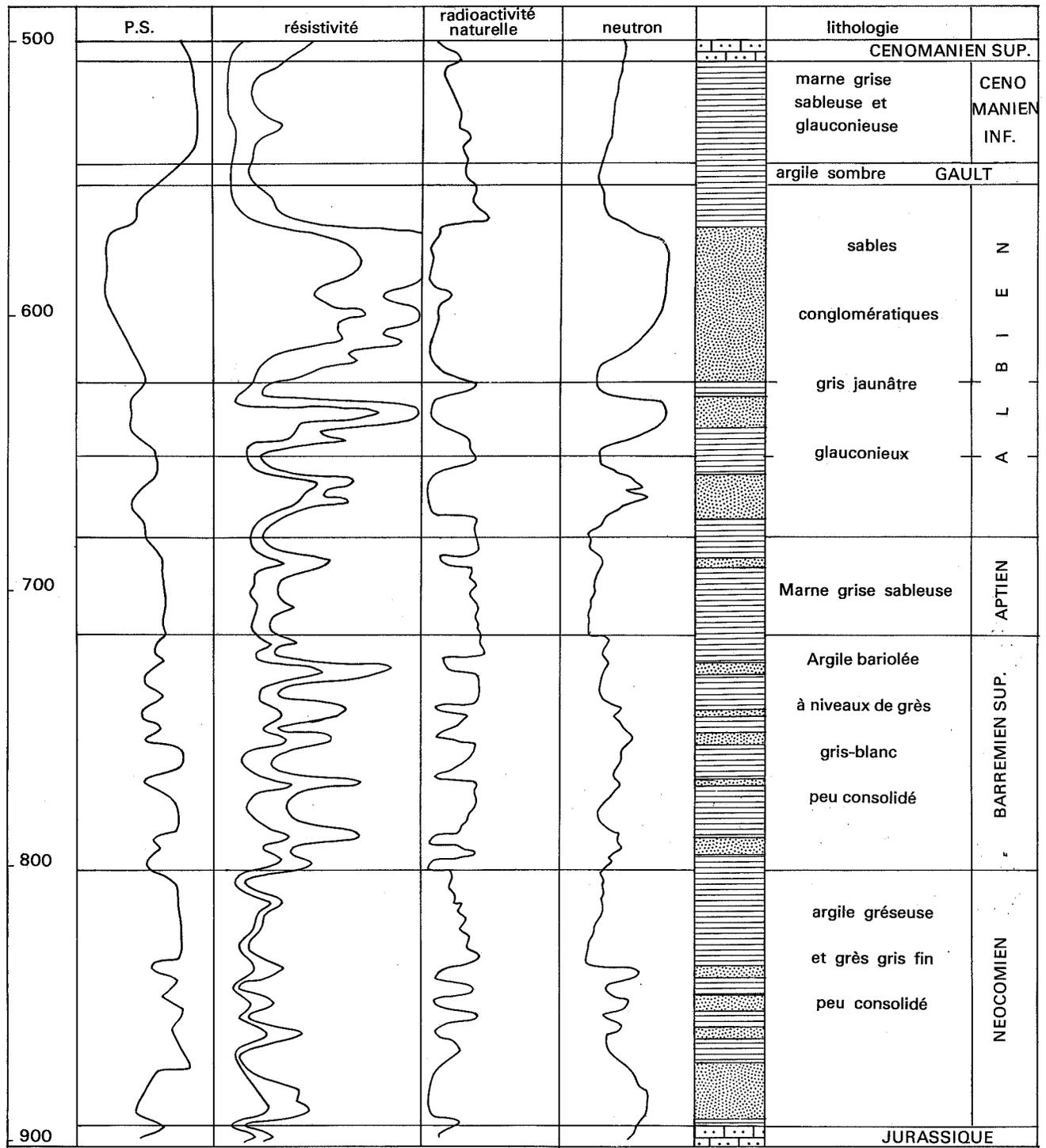
Le toit de ce dernier aquifère, également substratum de l'aquifère multicouche albien, est constitué par les argiles sableuses (Marnes à Plicatules) de l'Aptien, niveau continu à épaisseur constante (50 m de puissance sous la Brie).



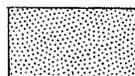
D'après Sarocchi et Lévy-Lambert, 1967.

Fig. 7.2. — Profondeur et formations géologiques de la surface d'érosion anté-crétacée, formant le substratum des aquifères du Crétacé inférieur

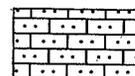
1 : Jurassique moyen (Dogger); 2 : Oxfordien; 3 : Kiméridgien; 4 : Portlandien; 5 : formations lagunaires du sommet du Jurassique; 6 : affleurements de la formation albienne; -800 : courbe d'égale altitude du sommet de la surface d'érosion.



1



2



3

D'après Sarocchi et Lévy-Lambert.

Fig. 7.3. — Succession-type des formations lithologiques du Crétacé inférieur

Cette figure présente les enregistrements continus par des méthodes électriques, des différentes caractéristiques physiques des terrains, mesurées par des sondes spéciales descendues dans le sondage (diagraphies). De gauche à droite : polarisation spontanée (P.S.), résistivité électrique des roches, radioactivité naturelle des roches et radiations provoquées par bombardement de neutrons (sondes nucléaires à neutrons).
1 : argile ; 2 : sables et grès ; 3 : calcaire marneux.

AQUIFÈRE DU NÉOCOMIEN-BARRÉMIEN

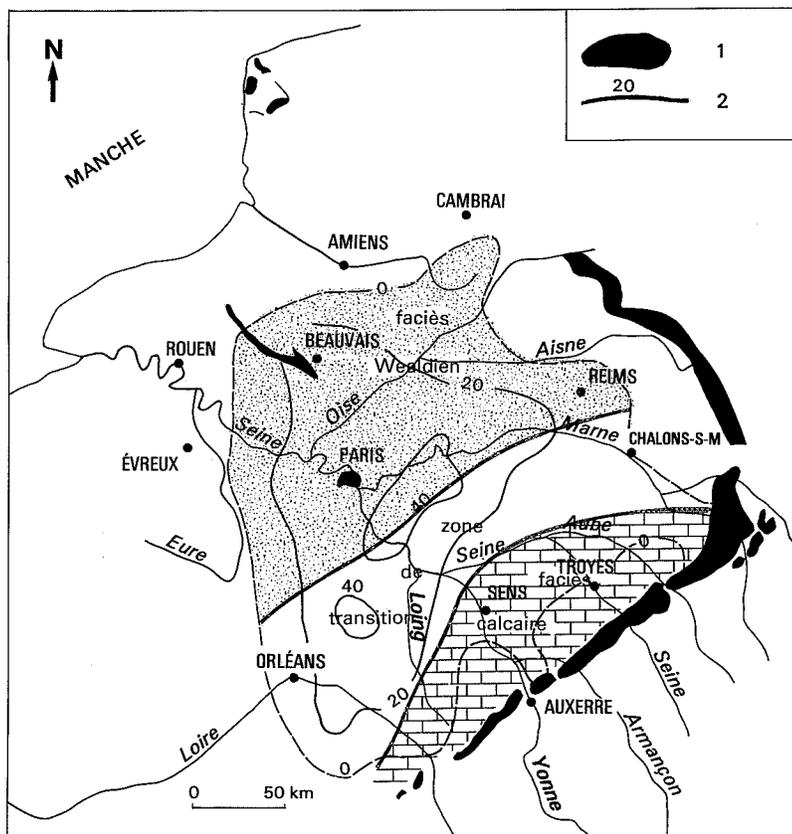


Fig. 7.4. — Aquifère multicouche de base du Crétacé inférieur (Néocomien). Nature et épaisseur du réservoir

1 : affleurements de la formation albiense ;
2 : courbe d'égale épaisseur du réservoir (isopaque).

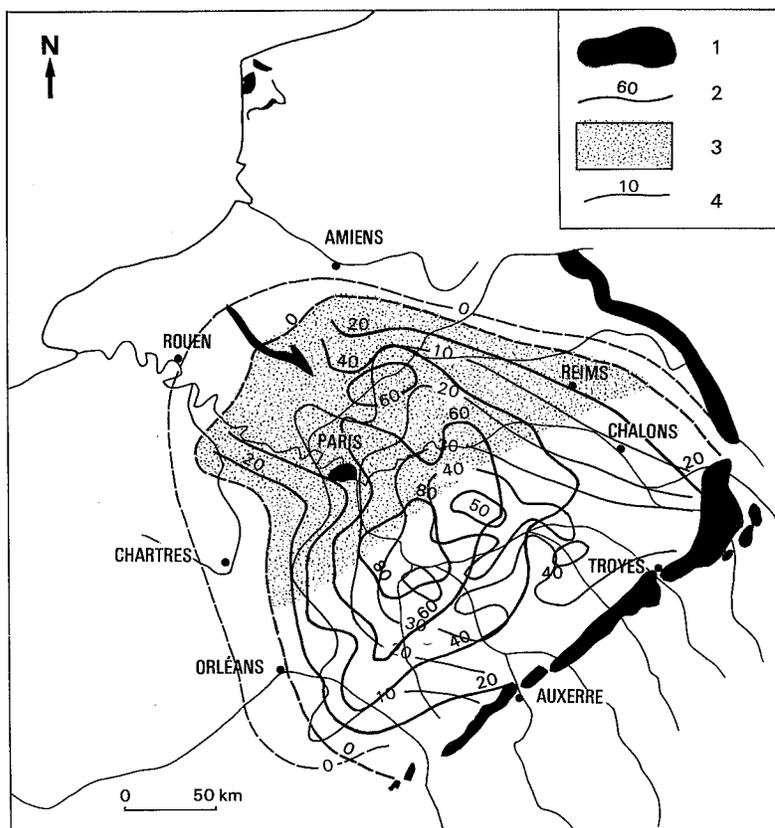


Fig. 7.5. — Formation aquifère multicouche barrémienne (Barrémien supérieur). Nature et épaisseur du réservoir

1 : affleurements de la formation albiense ;
2 : courbe d'égale épaisseur totale du réservoir (isopache) ;
3 : région où le réservoir est constitué de sables (faciès wealdien) ;
4 : courbe d'égale épaisseur de la formation aptienne formant le toit de l'aquifère.

AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ALBIEN

8.1. CADRE GÉNÉRAL

L'aquifère multicouche de l'Albien, ou *nappe des Sables verts*, est de loin le plus important du Crétacé inférieur, par sa puissance, son étendue et ses réserves en eaux souterraines (planche 3).

8.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

Substratum de la formation albienne

Le substratum, par suite de la transgression importante, accompagnée d'érosion (fig. 2.6), marquant le début de l'Albien, présente une structure compliquée. La formation albienne repose successi-

vement d'Est en Ouest sur des séries de plus en plus anciennes dessinant des auréoles concentriques (fig. 8.1). Des transferts d'eau entre l'aquifère de l'Albien et ceux des sables néocomiens (Wealdien), puis des calcaires jurassiques, sont donc possibles.

La lithostratigraphie complexe de la formation albienne, établie à l'aide de coupes des affleurements, des sondages et des diagraphies électriques (enregistrement de la résistivité des terrains recoupés par un forage) (fig. 8.2), est représentée dans le tableau 8.1 et sur les figures 7.3 et 8.2.

A l'intérieur de cette formation aquifère on peut individualiser *trois formations multicouches* argilo-sableuses séparées, mais *non isolées*, par des formations semi-perméables (LAUVERJAT, 1967, *a, b, c*; MÉGNIEN, 1970; SAROCCHI et LEVY-LAMBERT, 1966 et 1967).

TABLEAU 8.1

Lithostratigraphie sommaire de l'Albien du bassin de Paris

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie
40-80		Marnes de Brienne Argiles du Gault	ALBIEN SUPÉRIEUR
10-80	Formation argilo-sableuse supérieure des Sables de Frécambault		ALBIEN MOYEN
5-10		Argiles tégulines	
1-50	Formation argilo-sableuse moyenne des Sables des Drillons		
3-30		Argiles de l'Armanche	ALBIEN INFÉRIEUR
10-30	Formation argilo-sableuse inférieure des Sables verts		

Ce sont, de bas en haut :

- la formation argilo-sableuse inférieure des Sables verts (Albien inférieur);
- la formation argilo-sableuse moyenne des Sables des Drillons (base de l'Albien moyen);
- la formation argilo-sableuse supérieure des Sables de Frécambault (sommet de l'Albien moyen).

Ces formations aquifères sont très nettement délimitées au sommet par le toit imperméable des Argiles du Gault et des Marnes de Brienne.

Formation argilo-sableuse inférieure des Sables verts

Elle est constituée de sables siliceux, verdâtres, glauconieux, consolidés parfois en grès avec intercalations locales argileuses ou argilo-sableuses discontinues. Son extension est limitée à l'Ouest par une ligne passant par Dieppe—Évreux—Chartres. Sa puissance maximale, de 30 m, à la verticale de Creil—Meaux—Coulommiers et sous la Brie, diminue vers le Sud et vers l'Ouest (fig. 8.3). L'épaisseur des grès utiles est de 20 m, exceptionnellement de

30 m. Des communications sont possibles avec les formations supérieures dans le Nord du bassin et au SE du Pays de Bray et avec le substratum constitué par les niveaux sableux wealdiens à l'Ouest.

Formation semi-perméable des Argiles de l'Armance

Cette formation à dominance argileuse, avec localement des sables, subit d'importantes variations de puissance, de 30 m à 5 m. Elle ne constitue pas un obstacle aux échanges verticaux inter-nappes, surtout dans les régions situées au Nord et à l'Ouest de Paris.

Formation argilo-sableuse moyenne des Sables des Drillons

Les sables de cette formation, gris à verdâtres, assez mal calibrés, souvent cimentés en grès tendres, légèrement glauconieux et pyriteux, avec intercalations argileuses minces et discontinues, constituent un bon réservoir. Les argiles envahissent toute la série au Sud et à l'Est de Melun, dans l'Aube et la région de Montargis.

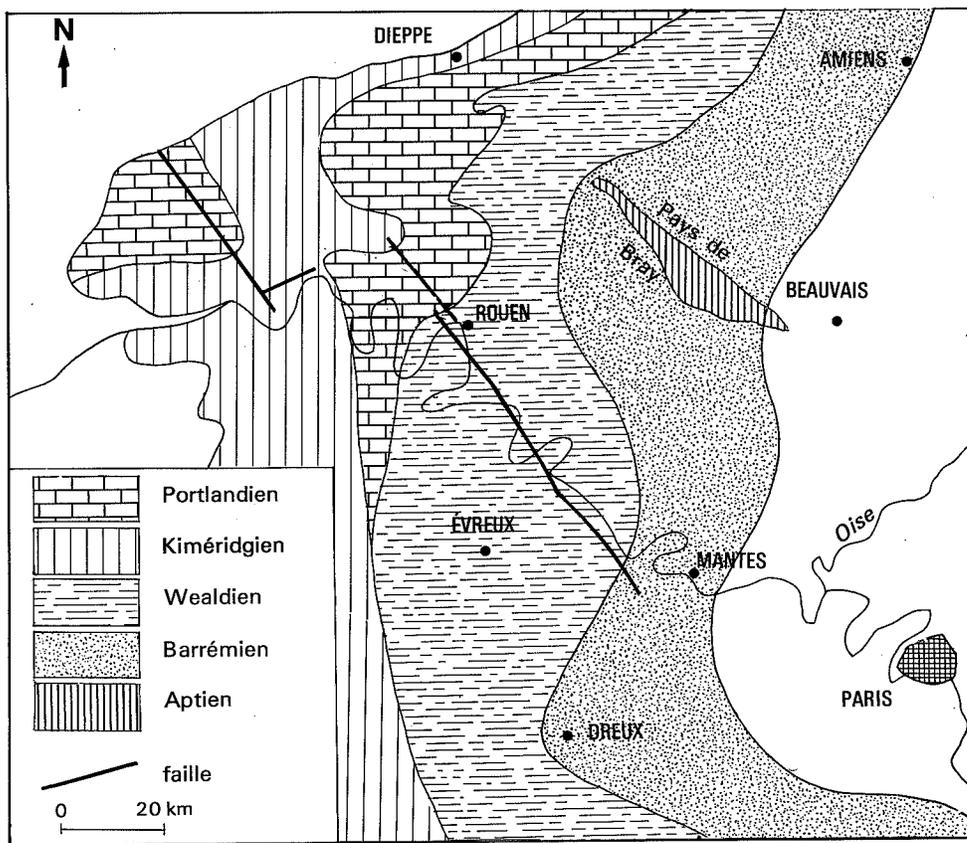
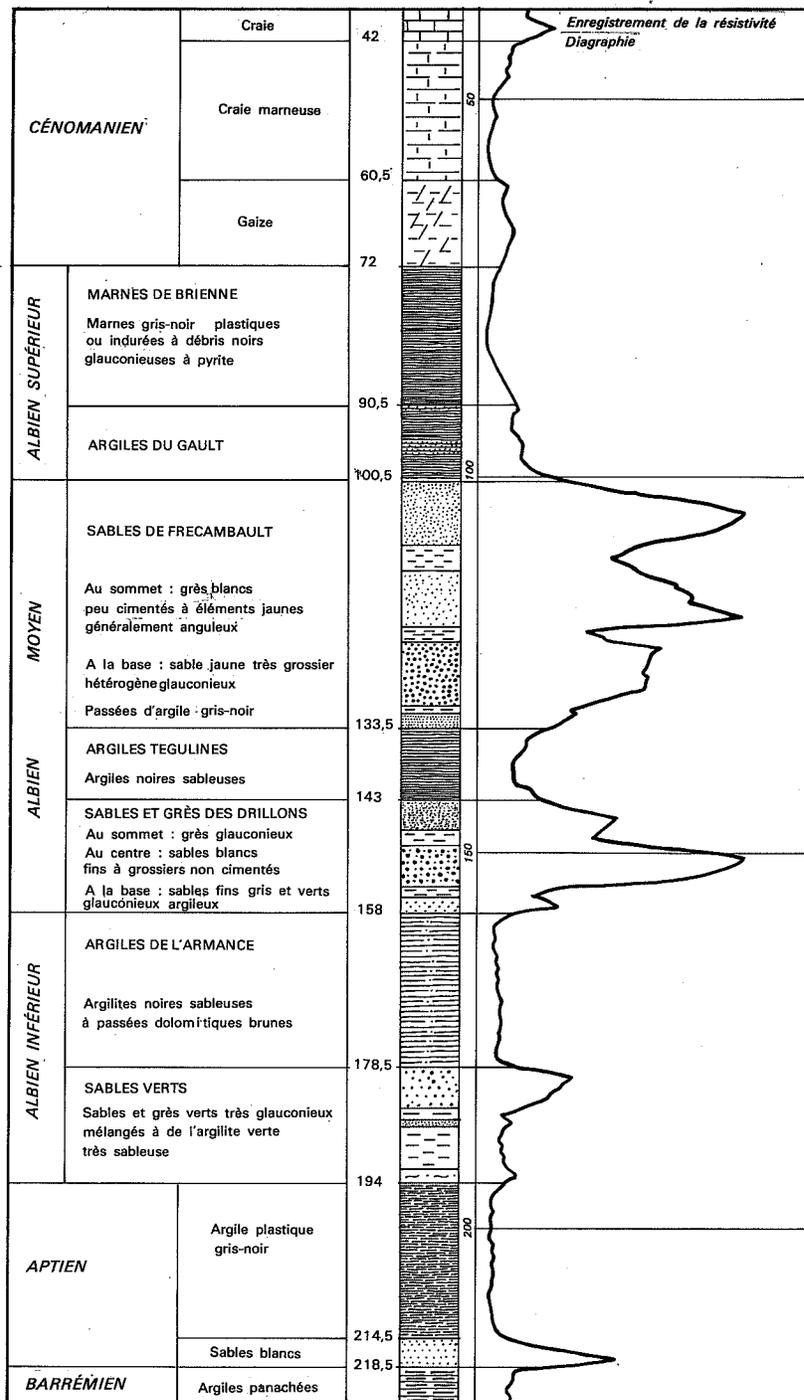


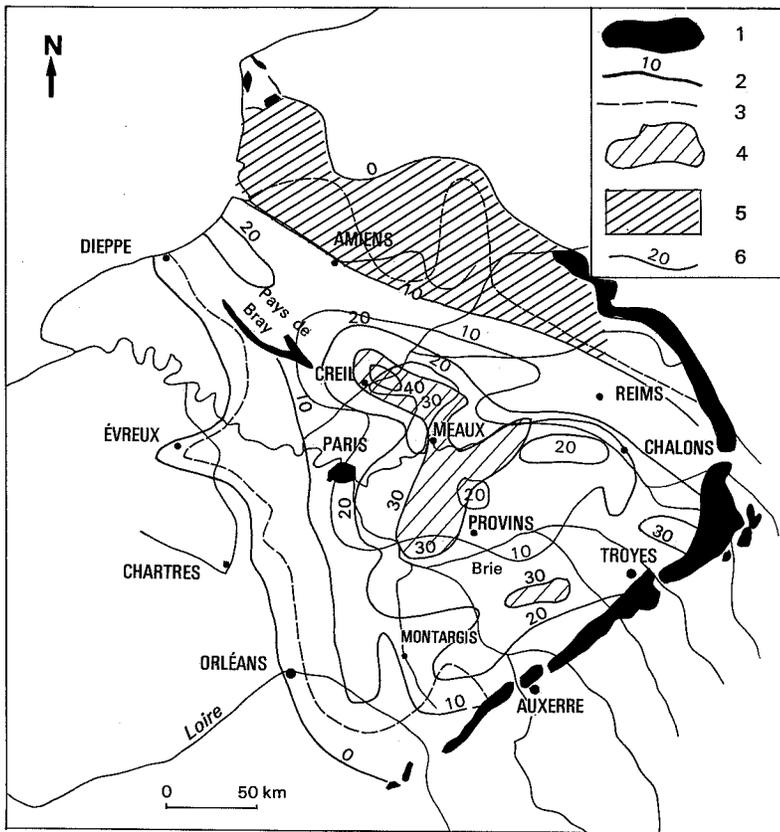
Fig. 8.1. — Carte schématique du substratum anté-albien dans la Basse-Seine et le Pays de Caux, montrant les possibilités d'intercommunications entre les aquifères du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur avec la nappe albienne.

EAUX SOUTERRAINES



D'après Lauverjat, 1967.

Fig. 8.2. — Constitution lithostratigraphique détaillée du Crétacé inférieur.
Sondage de Brion 1



D'après Sarocchi et Lévy-Lambert, 1967.

Fig. 8.3. — Formation argilo-sableuse inférieure des Sables verts (Albien)

1 : affleurements de la formation albiennne; 2 : courbe d'égale épaisseur des Sables verts; 3 : limite d'extension des sables vers le Nord, l'Ouest et le Sud; 4 : fosses de Creil-Meaux-Provins et de Brie; 5 : zones de communications entre les formations des Sables verts et des Sables de Frécambault; 6 : courbe d'égale épaisseur des grès utiles.

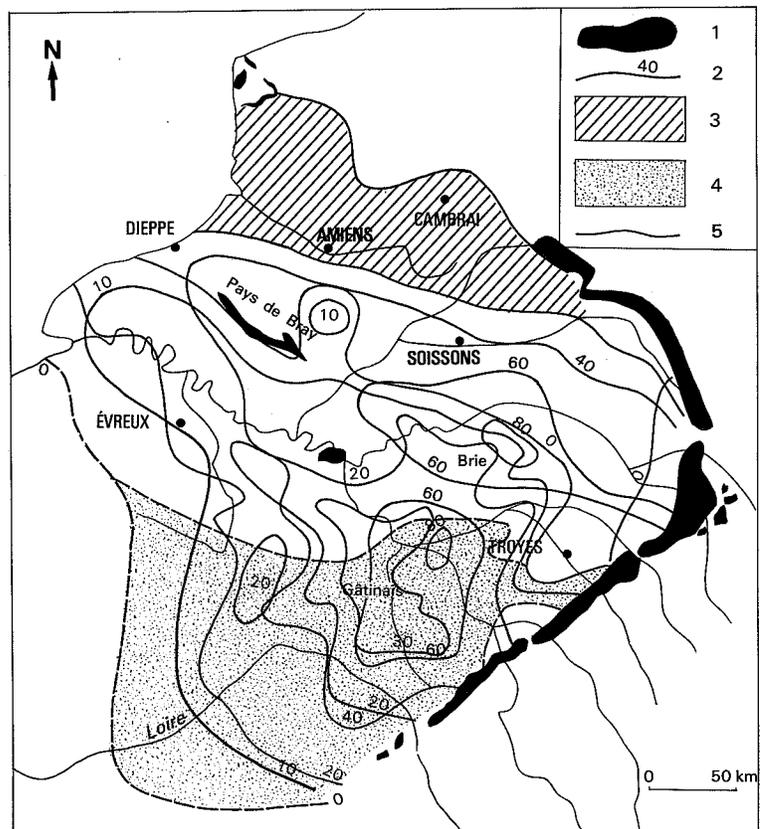


Fig. 8.4. — Formation argilo-sableuse des Sables de Frécambault (Albien)

1 : affleurements de la formation albiennne; 2 : courbe d'égale épaisseur de la formation; 3 : zones de communications avec la formation des Sables verts; 4 : zone de développement des sables et grès de base de la formation; 5 : courbes d'égale épaisseur des grès utiles.

EAUX SOUTERRAINES

L'épaisseur maximale de la formation est de 50 à 60 m à proximité des affleurements de l'Aube et sous la Brie, dans les zones de Meaux—Beaumont-sur-Oise — Coulommiers avec 20 m de grès utiles. Elle est réduite vers l'Ouest à 20-30 m sous Paris et à moins de 10 m au-delà d'une ligne Rambouillet—Beynes—Pontoise—Beauvais. Les Sables des Drillons débordent vers l'Ouest la formation des Sables verts, sous-jacente, établissant ainsi des intercommunications. Celles-ci sont également possibles, avec la formation supérieure, dans la région parisienne au Nord et à l'Est de la Brie et vers Saint-Florentin.

Formation semi-perméable des Argiles tégulines

Les Argiles tégulines, semi-perméables, parfois sableuses, de faible épaisseur, de 5 à 10 m, ne constituent pas un obstacle aux transferts d'eaux souterraines entre les aquifères.

Formation argilo-sableuse supérieure des Sables de Frécambault

Cette formation, la plus étendue, est constituée de sables siliceux assez fins, parfois consolidés en grès avec intercalations argileuses minces et discontinues. Vers le Nord, au-delà d'une ligne Troyes—Soissons—Pays de Bray—Dieppe, les argiles se développent et toute la formation devient argileuse, revêtant le faciès du Gault (fig. 8.4).

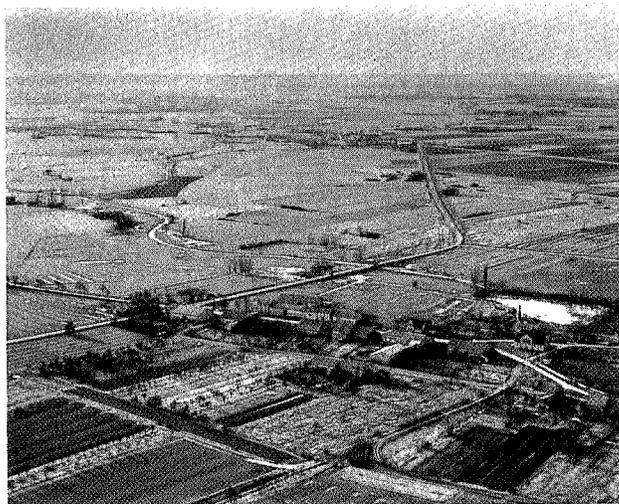
L'épaisseur des Sables de Frécambault, maximale avec 80 m au Nord de la Brie et dans le Gâtinais (épaisseur des sables utiles de 30 m), se réduit progressivement vers l'Ouest et le Sud.

Des échanges d'eaux souterraines sont possibles avec l'aquifère des Sables des Drillons. Par contre au sommet le toit imperméable est continu.

La formation des Sables de Frécambault constitue un puissant réservoir, surtout dans la partie centrale du bassin (fig. 8.4).

Toit imperméable de la formation multicouche albienne Argiles du Gault et Marnes de Brienne (Albien supérieur)

La formation multicouche albienne se termine par une assise argileuse continue sur tout le bassin, constituant un toit imperméable qui la sépare de la Craie (fig. 8.5). Cette couverture, d'une épaisseur maximale de 80 m au Nord du Pays de Bray et dans l'Aube, s'amincit vers le Sud jusqu'à 15 à 25 m sous Melun. Sa limite d'extension occidentale passe vers Rouen—Vernon—Saint-Illiers—Étampes. Au SW, en Touraine, les échanges sont possibles avec la formation sableuse du Cénomaniens inférieur qui la recouvre.



(Photo A. Perceval)

Fig. 8.5. — La Champagne humide : la plaine de la Woëvre

Zone de dépression sur les formations d'argiles et sables fins du Crétacé inférieur : Aptien et Albien. Ces formations semi-perméables sont intercalées au-dessus des calcaires jurassiques et au-dessous de la Craie de la Champagne Pouilleuse. C'est dans cette région que sont implantés les principaux barrages-réservoir du bassin de la Seine, sur fond de cuvette relativement étanche. C'est une région d'étangs et de marécages.

8.3. DESCRIPTION STRUCTURALE SOMMAIRE

La structure de la formation albienne peut être étudiée avec précision, à l'aide de cartes structurales : cartes en courbes d'égale altitude du toit des Sables de Frécambault (planche 3 et fig. 8.6) et carte en courbes isopaches.

Trois grandes zones structurales apparaissent nettement (fig. 7.1 et 8.6 et planche 3) :

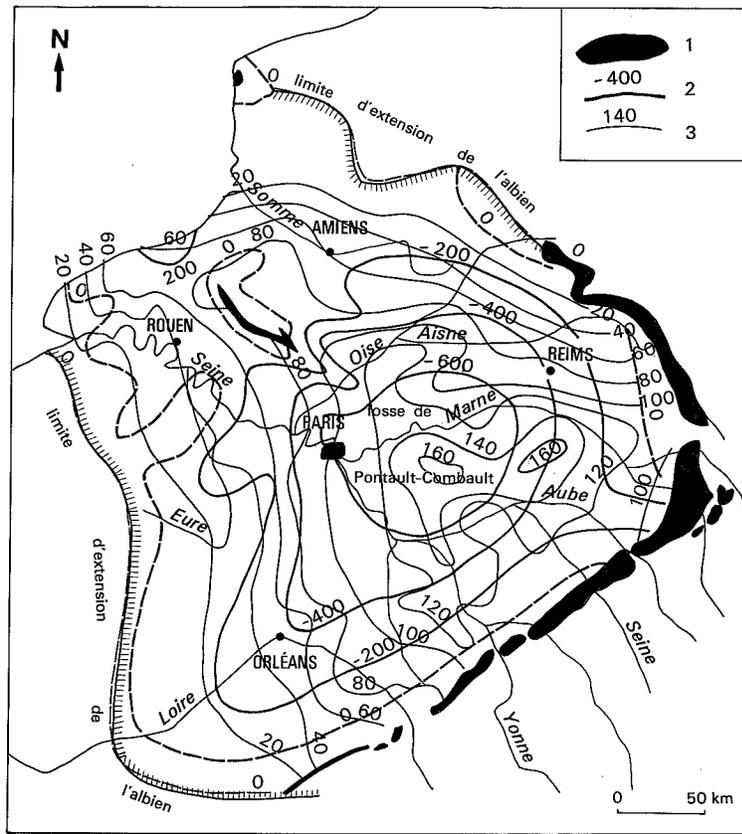
— la **structure monoclinale**, régulière, orientale du bassin de l'Aube et de l'Yonne (coupe géologique figure 7.1) où la formation albienne plonge en pente régulière du Sud et de l'Est vers la grande fosse centrale;

— la **grande fosse centrale**, située au NE de Paris, se subdivisant en trois dépressions, de Brie-Pontault-Combault, de Saint-Denis (altitude — 700 m) et de Meaux (altitude — 700 m);

— la **zone occidentale du Pays de Bray et de la Basse-Seine** de structure très complexe. Les formations dessinent une série d'ondulations parallèles. Les traits dominants sont :

— l'**anticlinal du Pays de Bray**, à axe SE-NW, dont les assises sont dissymétriques, les pendages du flanc nord étant plus accentués que ceux du Sud (fig. 8.7);

— l'**accident de la Seine**, zone anticlinale bordée sur son flanc sud par une faille à l'Ouest évoluant vers Beynes en flexure.



D'après Lauverjat, 1967 et Sarocchi et Lévy-Lambert, 1967.

Fig. 8.6. — Structure de la formation albiens

1 : affleurements de la formation albiens ; 2 : courbe d'égale altitude du toit de la formation albiens (sommet des Sables de Fréambault) ; 3 : courbe d'égale épaisseur de la formation albiens.

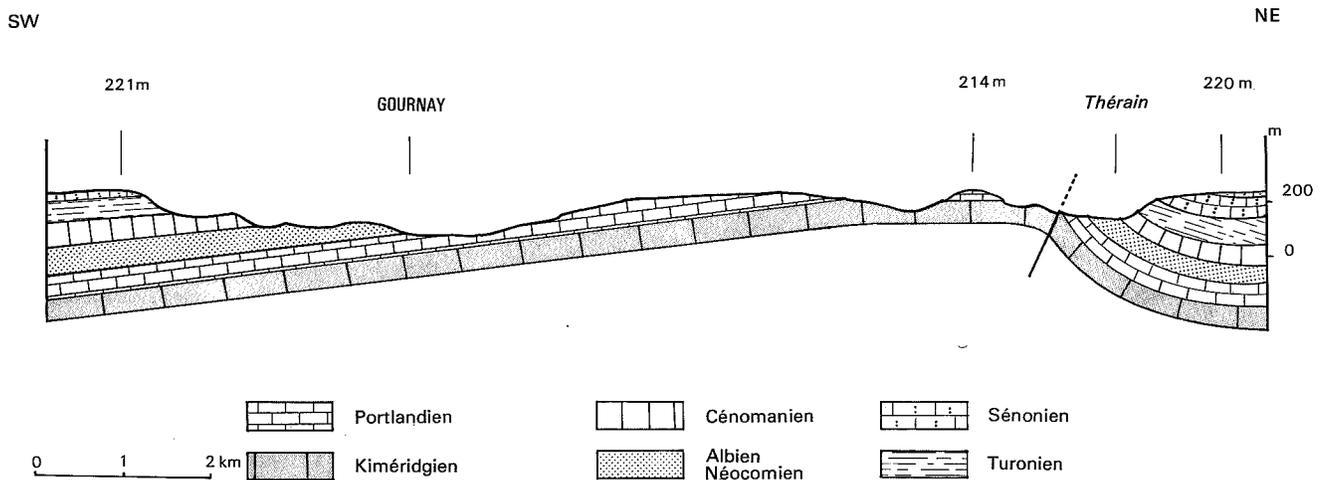


Fig. 8.7. — Structure de l'anticlinal du Pays de Bray

8.4. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA FORMATION MULTICOUCHE ALBIENNE

Caractéristiques physiques de la roche-réservoir.
La porosité totale moyenne est de 25 % avec des extrêmes de 3 et de 35 %. Les caractéristiques granulométriques sont données par la figure 8.8.

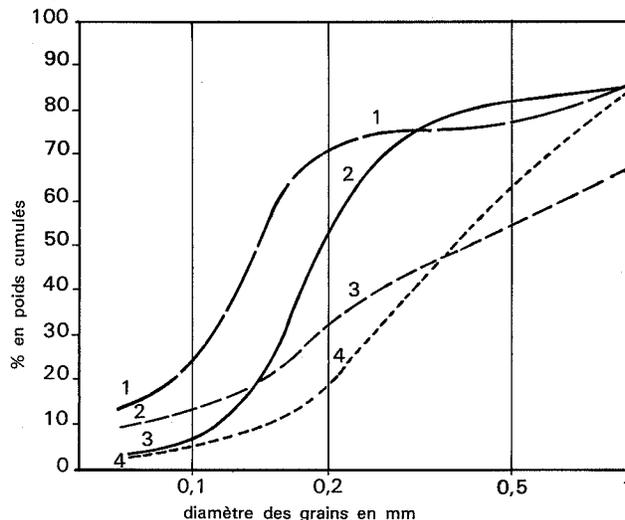


Fig. 8.8. — Courbes granulométriques des Sables albiens
1 : forage d'Orsay; 2 et 3 : forage de Villemonble;
4 : forage de Pantin

Aquifère multicouche. La formation albienne est un puissant complexe sablo-argileux où deux intercalations plus argileuses, semi-perméables (Argiles tégulines et Argiles de l'Armance), permettent de distinguer, surtout dans le SE, trois grands réservoirs (tableau 8.1). Mais la sédimentation hétérogène, verticalement et horizontalement, avec de fréquentes variations latérales de faciès ne permet pas toujours de les individualiser nettement et d'en suivre avec certitude la continuité. En l'absence d'obstacles réels à la circulation verticale des eaux souterraines la formation albienne doit être considérée dans son ensemble, du point de vue hydraulique, comme un aquifère unique.

Caractéristiques dimensionnelles : profondeur, épaisseur. Les données obtenues par les sondages d'exploration des eaux souterraines et des gisements de pétrole ont permis de dresser des cartes structurales précises de la formation aquifère albienne. Son épaisseur totale, des Sables verts aux Sables de Frécambault inclus, est donnée par une carte en courbes isopaches équidistantes de 10 m (fig. 8.6). Sa valeur maximale de 160 m au centre de la fosse de la Brie, à Coulommiers, diminue progressivement dans toutes les directions.

Les profondeurs de la base de la formation sont également très variables. Le maximum est atteint dans la fosse de la Brie avec une altitude de — 750 m à Coulommiers.

8.5. PRINCIPAUX AQUIFÈRES

L'aquifère multicouche albien constitue une unité hydrogéologique bien limitée par son substratum et son toit. L'exploitation des eaux souterraines permet d'individualiser trois aquifères, localisés dans les trois formations argilo-sableuses principales. Ce sont de bas en haut :

- aquifère inférieur des Sables verts;
- aquifère moyen des Sables des Drillons;
- aquifère supérieur des Sables de Frécambault.

8.6. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Les caractéristiques hydrogéologiques ont été déterminées par des pompages d'essais sur les ouvrages anciens et récents (fig. 8.9).

Les sondages sont localisés dans trois zones : les affleurements de l'Est du bassin, la région parisienne et la basse Seine-Normandie. Ceux de la région orientale, surtout dans l'Aube et l'Yonne, en général de faible profondeur, ont donné peu d'informations. Dans la région parisienne sur 42 forages, réalisés entre 1841 et 1966, 33 sont encore exploités dont 5 demeurent artésiens (Poissy, Bougival, Triel, Andrézy et Viry-Châtillon). Jusqu'en 1930 l'artésianisme ne permettant pas, avec le matériel de forage utilisé, de pénétrer profondément dans la formation albienne, seul l'aquifère supérieur des Sables de Frécambault a été capté. Les sondages réalisés entre 1931 et 1937 exploitent l'aquifère moyen des Sables des Drillons. L'aquifère inférieur des Sables verts n'a été atteint que par la moitié des ouvrages. Signalons que trois sondages seulement ont pénétré dans le Barrémien supérieur (Bougival, Ivry-Dumesnil et Pantin C. G. E.) et un seul dans le Néocomien (Ivry-Dumesnil). En Normandie, sur une centaine de sondages, vingt seulement sont encore exploités. En outre l'exécution de pompages d'essais à différentes époques montre le « vieillissement » des captages surtout dans les sables fins.

Le coefficient d'emmagasinement, S , varie de 9.10^{-4} à 1.10^{-5} . La porosité efficace moyenne est de 20 %. Partant de ces données et des dimensions des réservoirs, le volume d'eau emmagasiné dans la totalité de l'aquifère atteindrait 425.10^9 m³, dont 225 pour la formation supérieure, 55 pour la formation moyenne et 145 pour la formation inférieure.

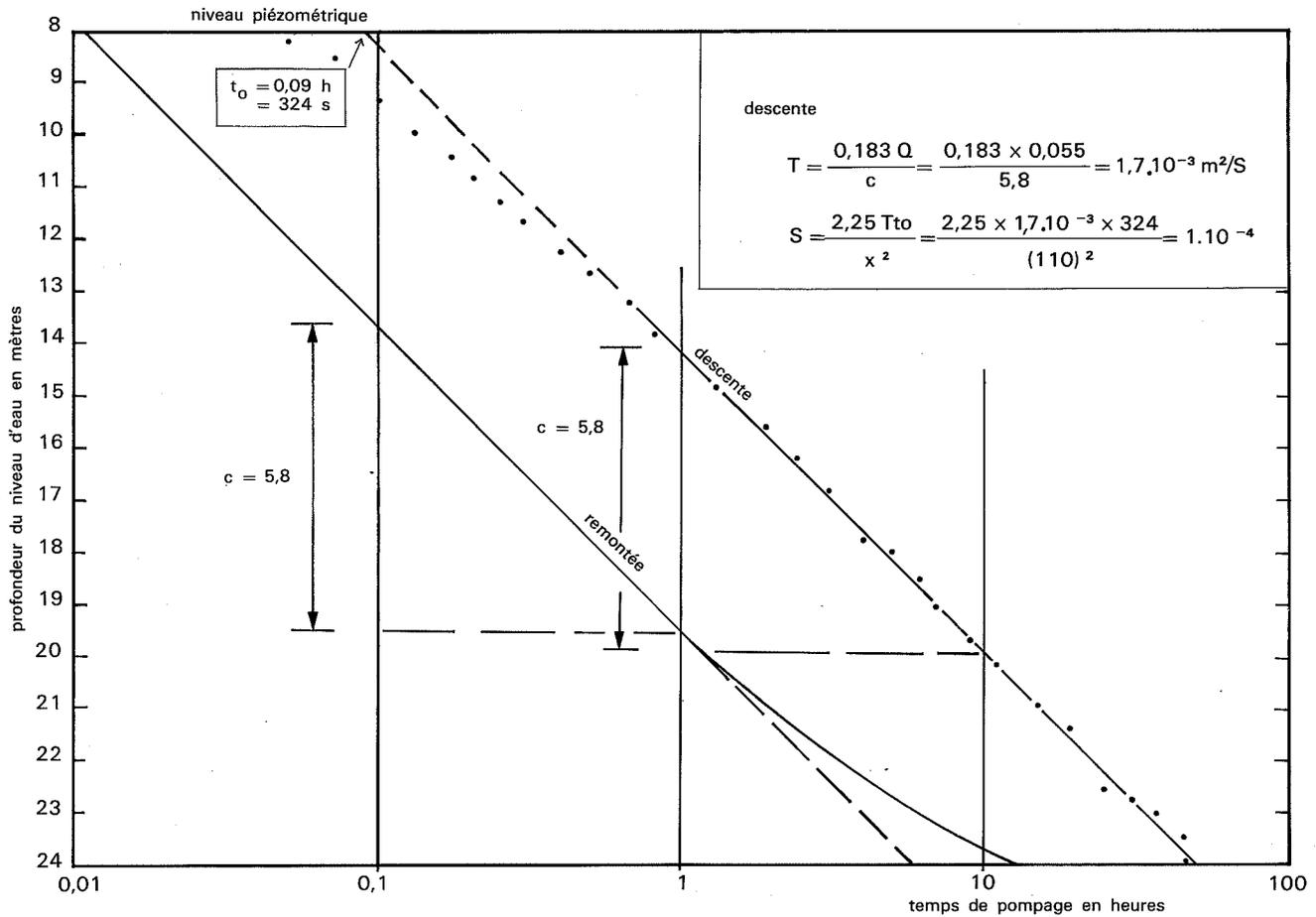


Fig. 8.9. — Représentation graphique des données du pompage d'essais dans l'aquifère albien au sondage d'Ivry-sur-Seine. Mesure des rabattements dans un piézomètre distant de 110 m du puits de pompage ($Q = 200 \text{ m}^3/\text{h} = 0,055 \text{ m}^3/\text{s}$)

La *transmissivité*, T , est très variable ainsi que le montre la carte figure 8.10.

Les *vitesse de l'écoulement souterrain* ont été obtenues par deux méthodes :

- l'une, ancienne, admettant un régime d'écoulement quasi permanent par application de la loi de Darcy, $v = \frac{KI}{m_e}$ (K étant la perméabilité de Darcy déterminée par des pompages d'essais, I le gradient hydraulique calculé d'après la carte piézométrique et m_e la porosité efficace). Elle donne une *vitesse effective de Darcy*, grandeur hydrodynamique théorique peu significative pour les applications pratiques (écoulement non-permanent, trajet moyen le plus court faisant abstraction de la dispersion) de 3 à 30 m/an selon les auteurs;
- l'autre, récente, basée sur l'étude des radioisotopes naturels (carbone 14), donne une

vitesse de terrain, grandeur cinématique plus conforme à la réalité, de l'ordre de 3 m/an dans la région de Rouen et de 5 m/an à Auxerre et Paris. Il est raisonnable d'admettre, sur de grands parcours, une valeur moyenne de 3 à 5 m/an.

8.7. PIÉZOMÉTRIE ÉTAT ACTUEL ET ÉVOLUTION

Malgré le nombre élevé des sondages, les données sur les niveaux piézométriques sont peu précises. En effet pour la majorité d'entre eux la mesure a été effectuée alors que les ouvrages étaient en exploitation continue. En outre la mauvaise exécution des reconnaissances et des captages a provoqué souvent des communications verticales entre les aquifères.

8.7.1. État actuel de la surface piézométrique

Morphologie générale de la surface piézométrique. L'aquifère multicouche de l'Albien est bien défini hydrauliquement par la morphologie de sa surface piézométrique (planche 3 et fig. 8.11). L'écoulement général des eaux souterraines s'effectue des limites nord, est, sud et ouest vers un grand axe central de drainage E.SE-W.NW correspondant approximativement à la vallée de la Seine à l'aval de Paris, accentué dans la Basse-Seine. Cinq zones d'exutoire peuvent être reconnues : la région parisienne, la basse vallée de la Seine, la Manche entre Seine et Somme, la basse vallée de la Somme et le Val-de-Loire. Seules les trois premières appartiennent au bassin Seine-Normandie.

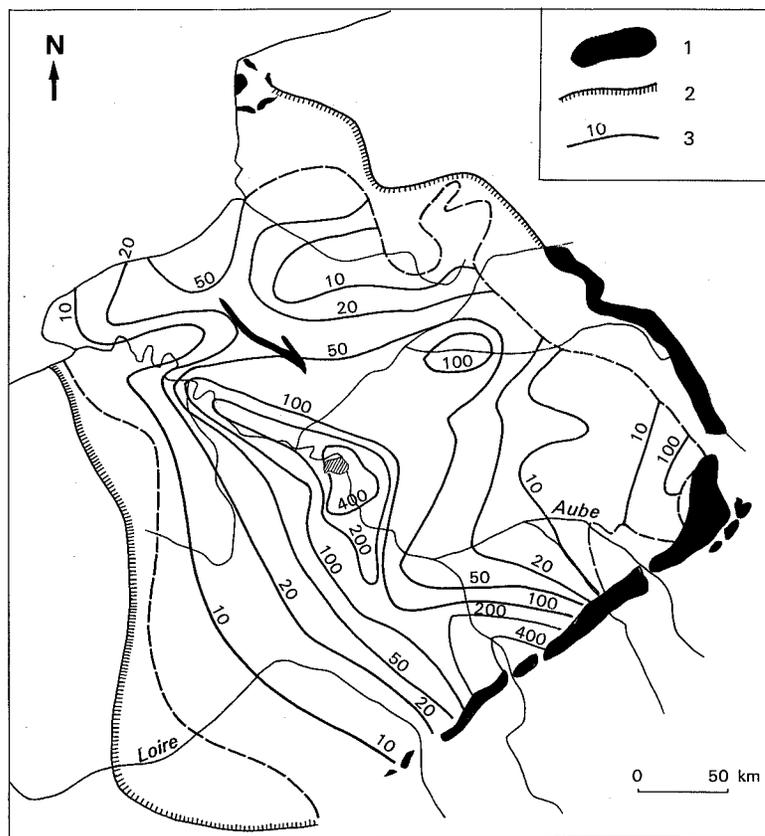
L'étude de la carte piézométrique permet d'identifier trois grandes unités piézométriques caractérisant trois zones hydrogéologiques correspondant aux grandes unités structurales (fig. 8.11) :

- la zone hydrogéologique orientale;

- la zone hydrogéologique centrale déprimée de la région parisienne;
- la zone hydrogéologique de drainage de la Basse-Seine.

Zone hydrogéologique orientale. A l'Est, dans l'Yonne en particulier, les courbes piézométriques traduisent une zone d'alimentation avec un gradient hydraulique régulier de 0,0025 vers le Nord jusqu'aux vallées de l'Yonne et de l'Armançon. Les niveaux piézométriques, de + 210 à Saint-Fargeau, s'abaissent à + 90 dans la haute vallée du Loing. Dans l'Aube le gradient est de 0,0016 (de + 140 à + 90 d'Est en Ouest). Des affleurements orientaux à la région parisienne les courbes piézométriques, quoique tracées par interprétation, montrent une nette convergence vers Provins, puis vers Paris.

Zone hydrogéologique centrale, déprimée par surexploitation de la région parisienne. Dans la région parisienne les courbes piézométriques fermées, montrent une grande zone déprimée dans la surface



D'après Sarocchi et-Lévy-Lambert, 1967.

Fig. 8.10. — Carte schématique de la répartition de la transmissivité de l'aquifère multicouche de l'Albien

1 : affleurements de la formation albienne; 2 : limites nord et sud d'extension de la formation albienne; 3 : courbe d'égale transmissivité en $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

AQUIFÈRE DE L'ALBIEN

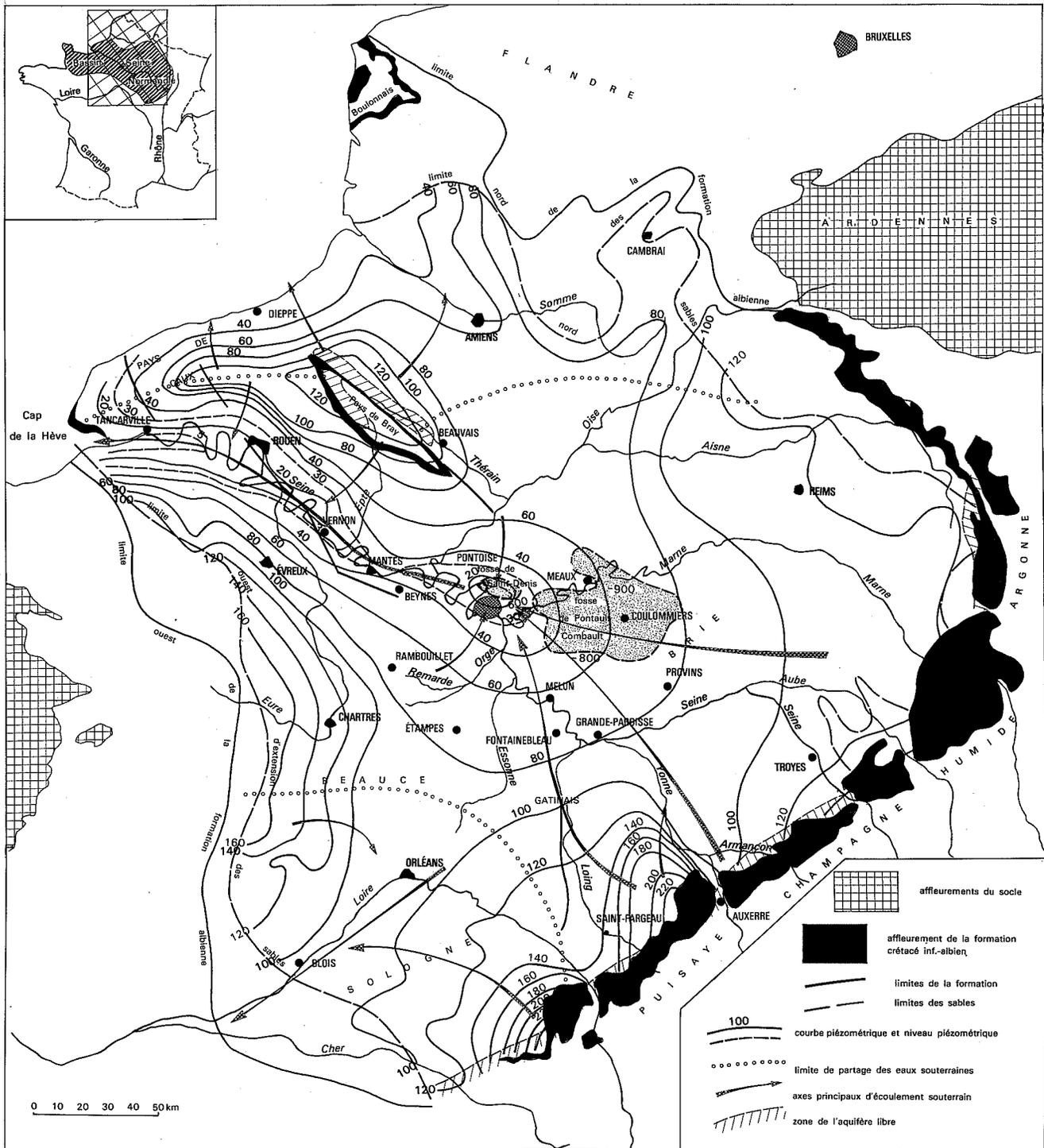


Fig. 8.11. — Caractéristiques principales du réservoir et carte piézométrique de l'aquifère multicouche de l'Albien

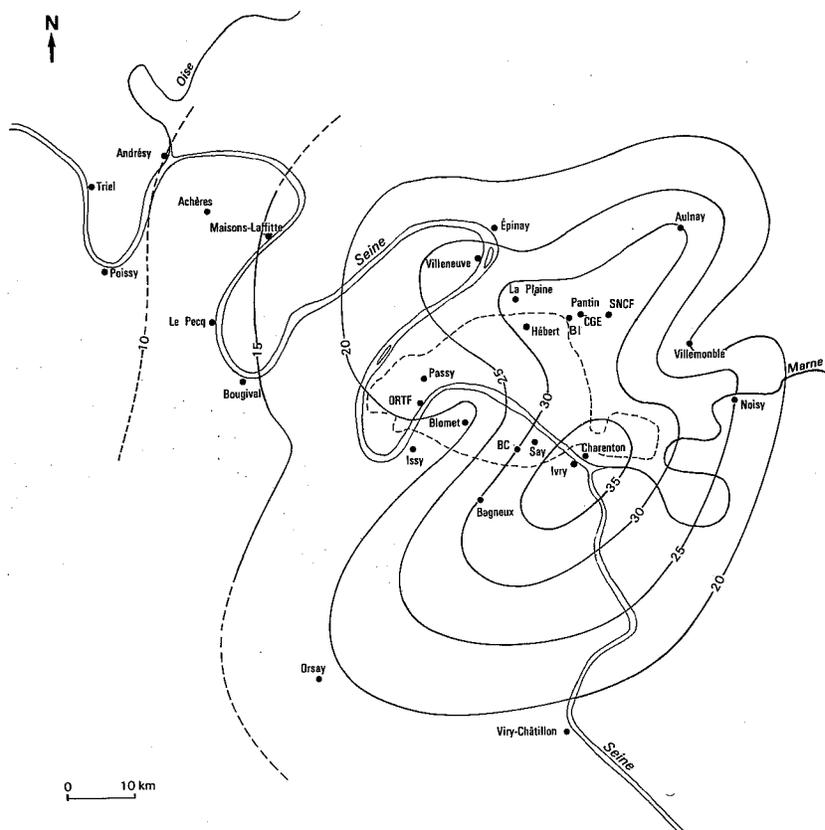
EAUX SOUTERRAINES

piézométrique. Ce vaste cône de dépression, situé sous Paris et sa banlieue nord (niveau piézométrique + 9), draine la quasi-totalité des eaux souterraines de la région parisienne et provoque, entre Mantes et Paris, un écoulement souterrain local de sens ouest-est inverse du drainage général (fig. 8.11 et 8.12). Correspondant aux secteurs où les forages sont les plus nombreux, ce cône met en évidence la surexploitation locale des eaux souterraines. Le bassin d'alimentation de l'aquifère multicouche de l'Albien de la zone hydrogéologique de Paris est ainsi séparé de la Basse-Seine, à l'Ouest, par une limite hydraulique Beauvais—Mantes—Dreux. Au Nord la limite avec le bassin hydrogéologique de la Somme passe par Beauvais—Reims. Au Sud le bassin hydrogéologique de la Loire commence avec le secteur méridional de la Beauce, très proche de la Loire, 10 à 20 km au Nord et au NE d'Orléans.

Zones hydrogéologiques de drainage de la Basse-Seine. La basse vallée de la Seine, à l'aval de Mantes, constitue une zone importante de drainage dont

l'axe est marqué approximativement par le fleuve. Les niveaux piézométriques décroissent, d'amont vers l'aval : + 30 à Mantes, + 10 à Vernon et + 5 à Tancarville. Ainsi par un effet hydraulique les prélèvements importants effectués dans la région parisienne, ont interrompu les apports en provenance de la zone orientale. La Basse-Seine est donc uniquement alimentée par l'impluvium des affluents du Pays de Bray et de la zone périphérique méridionale.

Du Pays de Bray vers la Seine, le gradient hydraulique est de 0,003. Son augmentation importante au Sud de la Seine, au niveau de l'anticlinal de Beynes-Saint-Illiers, est provoquée par la structure hydrogéologique locale. A l'Ouest, le bassin de la Basse-Seine est séparé du Pays de Caux, où les eaux souterraines s'écoulent vers le Nord, par une crête hydraulique joignant l'Ouest du Pays de Bray au Havre. Au Nord du Pays de Bray l'écoulement souterrain s'effectue vers le bassin de la Somme (fig. 8.11).



D'après Lauerjat, 1966.

Fig. 8.12. — Dépression piézométrique de la région parisienne due à la surexploitation

Alimentation de l'aquifère. L'étude de la surface piézométrique dans les zones de bordures, en particulier au SE en Puisaye et en Gâtinais, au Sud et à l'Ouest, montre la présence de *dômes piézométriques*. Ceux-ci, zones importantes d'alimentation, ne coïncident pas toujours avec les affleurements albiens. C'est le cas pour le SW où la formation albienne est recouverte d'une soixantaine de mètres d'assises semi-perméables. Cette alimentation, traduite par la piézométrie, a été confirmée par l'étude des radioisotopes naturels (VUILLAUME, 1971).

Pertes de l'aquifère. Les pertes vers l'Est, en direction de la mer, sont négligeables (LEMOINE, HUMERY et SOYER, 1939). Les dépressions de la surface piézométrique traduisent des zones de pertes. En particulier dans la Basse-Seine l'influence des pompages est accentuée par le drainage de l'aquifère alluvions-Craie (Seine et affluents). L'effet dynamique de ce drainage se propage dans les nappes profondes (MARGAT, 1969).

L'étude détaillée de la surface piézométrique montre donc que *l'alimentation et les pertes de l'aquifère multicouche de l'Albien ne sont pas associées systématiquement aux affleurements*. Ces faits sont confirmés par des études piézométriques locales très précises (PANETIER, 1969) et par l'hydrochimie isotopique (VUILLAUME, 1971).

Conclusions

La nappe est actuellement captive dans toute la zone centrale du bassin. Les eaux souterraines, ascendantes sous les plateaux, sont artésiennes dans les secteurs peu exploités des vallées. Par contre l'artésianisme a disparu en région parisienne.

Le niveau piézométrique, + 5 à Tancarville, montre que les possibilités d'*invasion des eaux salées marines* sont actuellement localisées près du littoral. Mais si les prélèvements augmentent dans la région parisienne, les eaux souterraines en provenance du secteur ouest (Pays de Bray, Sud du bassin) seront drainées davantage vers Paris et le niveau piézométrique de la région côtière s'abaissera provoquant la progression de l'invasion des eaux salées.

8.7.2. Évolution de la surface piézométrique

La surface piézométrique de l'aquifère multicouche de l'Albien s'est peu modifiée au cours des cinq dernières années, conséquence des mesures légales de protection. Il n'en fut pas de même autrefois. Lors de l'exécution du forage de Grenelle, premier ouvrage profond exécuté à Paris en 1841, le niveau piézométrique atteignait + 120 m. Sa cote + 19, en 1965 dans un forage voisin, montre

un abaissement de plus de 100 m en 124 ans. Cette chute importante est généralisée, avec quelques variantes, à tout le centre du bassin (fig. 8.13 et 8.14).

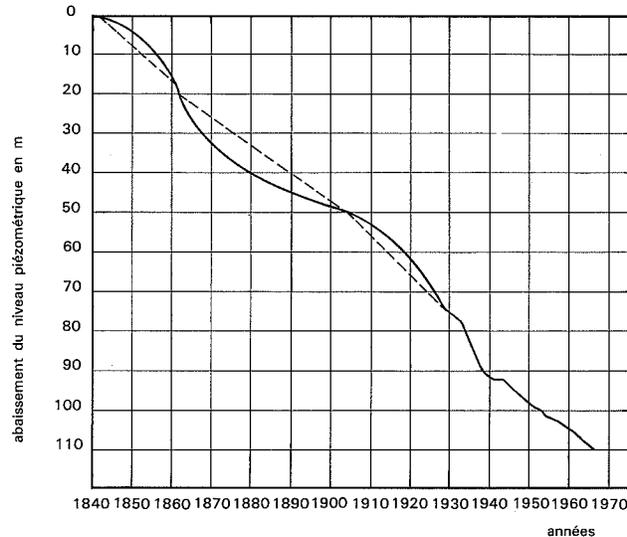


Fig. 8.13. — Abaissement de la surface piézométrique de l'aquifère multicouche albien de 1841 à 1970

A partir de mesures ponctuelles sur divers sondages, il a été possible dans la région parisienne de calculer chaque année pour l'ensemble de l'aquifère un abaissement annuel moyen du niveau piézométrique. Assez faible et sensiblement constant jusqu'en 1933, il augmente brutalement entre 1934 et 1938, de 13 m en 5 ans. Après un palier correspondant aux diminutions de prélèvements des années de guerre 1939-1944, la baisse a repris régulièrement. Le régime de quasi équilibre réalisé de nos jours peut cesser brusquement avec l'augmentation de l'exploitation.

La forme des courbes piézométriques, tracées entre Paris et Vernon, conduit à penser que le seuil hydraulique actuel, observé vers Mantes, est d'origine récente. Avant la surexploitation les courbes encerclant Paris s'ouvraient vers l'Ouest et se raccordaient à celles de la Basse-Seine.

8.8. CAPTAGES ET DONNÉES SUR LES PRÉLÈVEMENTS ET LEUR ÉVOLUTION

Les mesures de débits sont plus nombreuses que celles des niveaux piézométriques. Leur précision est de l'ordre de 10 %.

Prélèvements actuels. Le volume d'eau total exploité dans l'ensemble de la région parisienne

EAUX SOUTERRAINES

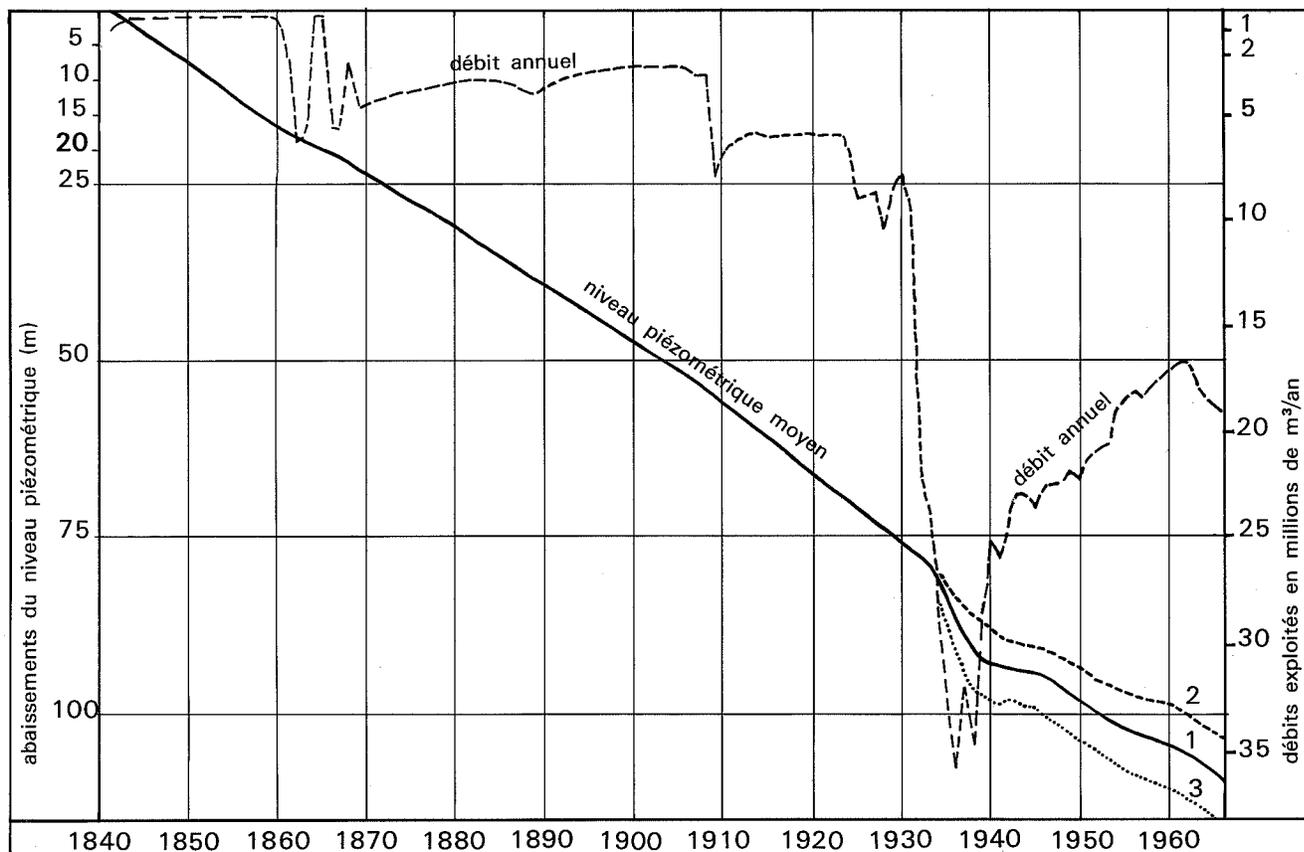


Fig. 8.14. — Baisse du niveau piézométrique dans la région parisienne en fonction de l'augmentation du débit global annuel exploité
 1 : niveau piézométrique moyen de la région parisienne ; 2 : niveau piézométrique moyen de la région de Paris-Sud ;
 3 : niveau piézométrique moyen de la banlieue nord

s'élève à environ 72 000 m³/j (tableau 8.2). Il faut souligner que 13 forages, sur 49 répertoriés, ne sont plus ou pas encore utilisés.

Dans l'ensemble du bassin les principaux prélèvements sont concentrés dans la région parisienne et la vallée de la Basse-Seine.

TABLEAU 8.2
 Données sur les prélèvements dans l'aquifère albien de la région parisienne

Mode de prélèvement	Utilisation (m³/an)		Totaux		
	eau potable	eau industrielle	m³/an	m³/j	%
Débit artésien (écoulement naturel)	4 170 500	1 700 000	5 870 500	16 080	22,2
Débit pompé	11 752 890	8 809 000	20 561 890	56 330	77,8
Totaux	15 923 390	10 509 000	26 432 390	72 410	
en %	60,25	39,75			

8.9. HYDROCHIMIE

Évolution des prélèvements, surexploitation. Les débits, depuis la mise en exploitation du sondage de Grenelle en 1841, sont en augmentation continue (fig. 8.14). Dans la région parisienne la corrélation entre les variations du niveau piézométrique et le volume d'eau exploité, prouve l'effet de la surexploitation des eaux souterraines. La période 1930-1937 marque une augmentation considérable du volume d'exhaure, de 7 à 34 millions de m³/an (27 sondages profonds nouveaux) entraînant un abaissement de la surface piézométrique. Actuellement, pratiquement, l'exécution de nouveaux forages dans l'Albien est suspendue.

Le volume d'eau pompé dans l'agglomération de Paris, s'élevant à 38 000 m³/j environ (soit plus de 57 % de celui extrait dans l'ensemble de la région parisienne), est la cause principale de la dépression observée dans la banlieue sud (Ivry). Cependant comme l'exploitation y est moins importante que dans la région nord (plaine de Saint-Denis) un second facteur intervient ici, d'ordre structural, la proximité de la limite sud de la fosse de Saint-Denis.

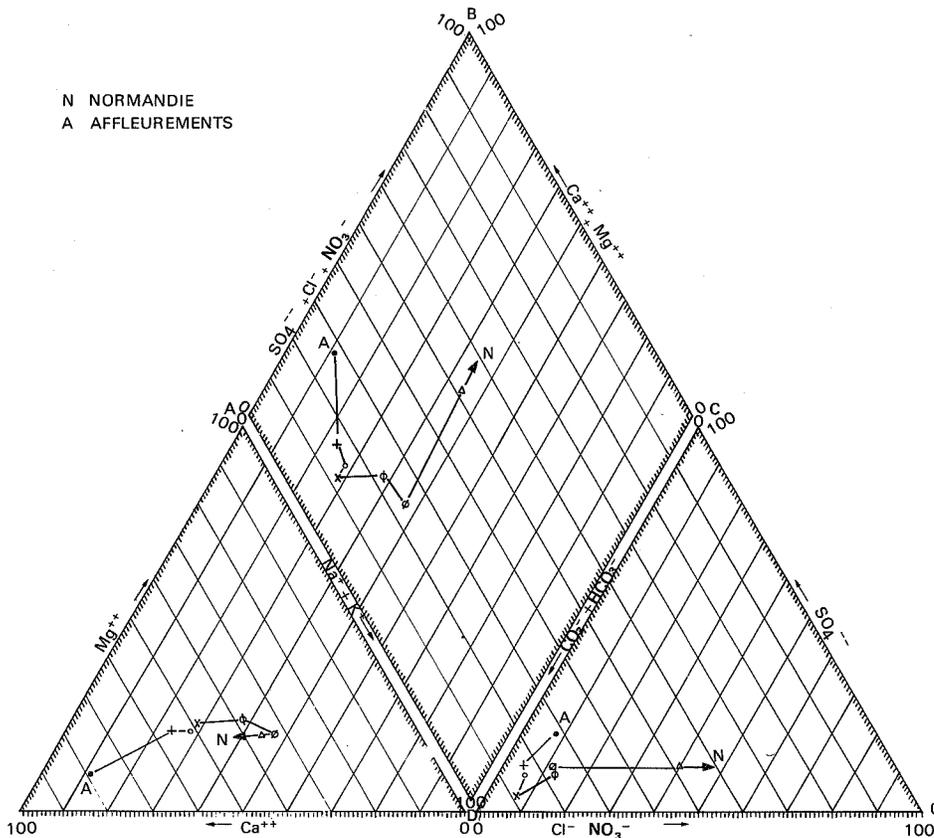
L'hydrochimie des eaux souterraines de l'aquifère multicouche de l'Albien a été abordée par :

- des études classiques des propriétés physiques et chimiques en particulier des sels dissous (tableau 8.3);
- des études de radioisotopes naturels, carbone 14 et tritium.

8.9.1. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines

De nombreuses analyses ont été effectuées à différentes époques (tableau 8.3 et fig. 8.15). L'étude des données analytiques permet tout d'abord deux constatations :

- les variations interannuelles de la composition chimique des eaux d'un même puits sont faibles;
- des zones de faciès hydrochimique apparaissent (fig. 8.15, 8.16, 8.17).



D'après Vuillaume, 1971.

Fig. 8.15. — Évolution des faciès chimiques des eaux de l'Albien, d'Est en Ouest. Diagrammes trilinéaires

TABLEAU 8.3

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien

Situation		Résistivité ohm.cm	pH	Résidu sec mg/l	Concentration en mg/l						
Région	Sondage				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻
Ardennes	Amagne			480	115,4	1	7,5	0	15	29	
	Champigneulle				114	7	3	1,5	7	20,5	175
	Grand-Camp			470	96	11	15		6	19	186
Aube	Lusigny	11 300	7,7		65	35,2	61,4	12,3	52,5	224,6	84
	Thennelières	10 400	7,7		41,4	20,5	136,9	10,4	49,7	205,3	107
Puisaye	Chichery	4 870	7,7		32,6	2,4	4,2	2,3	7,1	20,5	51,8
	Dracy	4 265	7,3		40,8	2,4	5	0,7	8,5	0,1	62
	Fleury	2 156	7,7		63,2	14,2	6,2	8,7	11,4	74,2	92,7
Marne	Domrémy	1 790	8	322	58	32,4	7,8	11	5,7	38	159
	Sainte-Menehould	1 670	7,9	352	22	12	92,5	10	9,9	40	146
Cher	Aubigny-Nère	2 300	7,7		74,2	1,8	6,2	1,6	14,2	11,5	89
	Chapelle-d'Anguillon	2 400	7,5	282	83,2	2,4	5,5	1,5	13,5	6	124,4
	Valentigny	1 925	7,4	317	106	3,6	4,7	3,5	8,2	13	157
Seine-et-Marne Loiret	Grande-Paroisse	3 280	8,0	178	35,2	10,6	10	7,6	5	10,5	83
	Briare	4 900	7,6		34,2	2,8	3,5	3,6	6,4	15	54
Loir-et-Cher	Vendôme	936	7,4	602	59	14,8	143	9	151	86	135
Essonne	Orsay	3 590	7,6	172	33	6,5	8	11	9	15	62
	Viry-Châtillon	3 710	7,6	156	31	7	8	11	8	11	62
Oise	Beauvais	2 910	7,5	205	8	2,4	83		14	9,6	92
Seine	O. R. T. F.	3 480	7,1	140	30	7,5	11,4	11,3	11,8	10	79
	Passy	3 610	8		26	8	13,5	11	6	9	76,3
	Buttes aux Cailles	3 180	7,5		36	9,6	13	9	7	12	89,3
Hauts-de-Seine	Bagneux	3 590	7,4		31	8,1	19	8	7,5	12	60,1
	Nanterre				30	7,4	18		8,8	11,2	72
	Issy-les-Moulineaux	3 770	7,6	176	32,5	9	10	11,7	9	19	72,5
Val-de-Marne	Ivry	3 375	7,7		28	7	12,5	10,5	8	12	72
Val-d'Oise	L'Isle-Adam				10,8	1	80		21	17,5	114
Yvelines	Achères	4 410	7,6	204	26	6,3	11,1	9,5	7	9,6	72
	Poissy	3 420	7,8	169	30	9	13	13,2	7	12	77
	Saint-Germain	4 010	8	147	27	7,9	14,5	12,1	5,7	9,6	63
Eure-et-Loir	Bonneval	1 800			7,8	4,2	109	10,5	10	37	46
	Châteaudun	1 630	8	388	58,4	3,6	75,1	9	20,2	25	151
Eure	Elbeuf-Ceris	1 630	7,9	359	32	15,8	74	19,6	23,8	22	161
	Vernon	2 170	7,9	240	27	10,8	41,4	14	25,5	18	97
	Pont-de-l'Arche	920	7,8		52,8	24	148	23,6	152	132,3	123
Seine-Maritime	Canteleu	1 050	7,7	768	41,6	10,1	125	23,3	150,5	45,6	127
	Sotteville		7,6	386	46	16	56	18,7	94	35,7	98
Somme	Amiens			12 200	196	95	3 580		4 250	2 280	180
	Belleuse		7,5		160	167	2 765		3 100	2 060	333
Pas-de-Calais	Wawans-Authi		7	13 360	245	270	4 380		7 330	515	252

Résistivité des eaux souterraines. Les variations de la résistivité des eaux souterraines sont liées au régime de l'écoulement souterrain. Faibles en moyenne elles décroissent en fonction de l'éloignement des affleurements du SE vers le NW de plus de 4 000 ohm.cm en Puisaye à 2 188 ohm.cm en Basse-Seine. L'exploitation accentue cette évolution, comme le montre une zone de résistivité à 4 000 ohm.cm correspondant à la vallée de la Seine entre Paris et Meulan.

Degré hydrotimétrique. Le degré hydrotimétrique est faible. Il varie peu autour d'une moyenne de 10 degrés français.

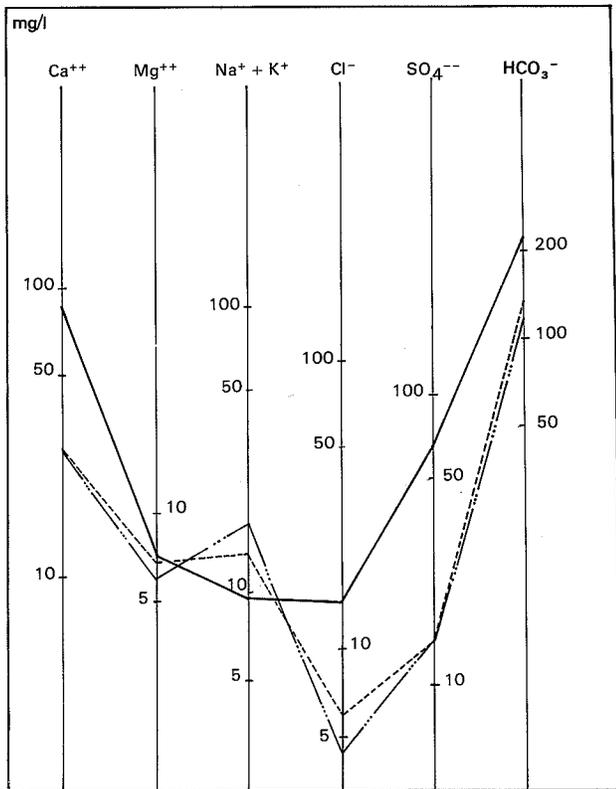
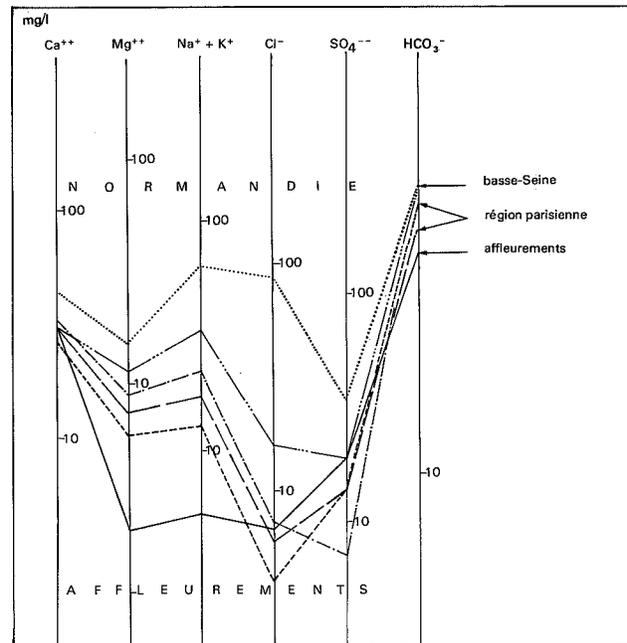


Fig. 8.16. — Diagrammes logarithmiques de la composition chimique des eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien

Températures. La température des eaux souterraines dépend essentiellement de la profondeur de leur gisement, la température moyenne des assises du sous-sol augmentant avec la profondeur, selon le gradient géothermique. Le gradient géothermique moyen de 1 °C par 30 m, varie en fonction des conditions géologiques : 1 °C par 33 m à Grenelle, 1 °C par 45 m à Pantin, 1 °C par 17 m à Pressagny.



D'après Vuillaume, 1971.

Fig. 8.17. — Évolution des faciès chimiques des eaux de l'Albien, d'Est en Ouest

Sels dissous. Le traitement sur ordinateur des nombreuses données analytiques a permis d'obtenir des résultats intéressants portés sur des diagrammes logarithmiques et trilinéaires (VUILLAUME, 1971).

Le fait général qui se dégage est l'homogénéité des faciès hydrochimiques sur de grandes zones, la minéralisation totale étant en général voisine de 300 mg/l. Les diagrammes logarithmiques et trilinéaires permettent de reconnaître deux faciès hydrochimiques (fig. 8.15, 8.16, 8.17) :

- *faciès bicarbonaté calcique* dans les régions périphériques à niveau piézométrique élevé, correspondant souvent à des aires d'eaux captives, quelle que soit la situation géographique dans le bassin : Est, SE, Ouest;
- *faciès bicarbonaté sodique*, apparaissant au centre et à l'Ouest, dans les zones de faible niveau piézométrique, correspondant toujours à des zones captives. Ce type s'accroît avec la longueur du trajet parcouru par les eaux souterraines. Ces faits mettent en évidence des échanges de base avec fixation des ions Ca^{++} dans les argiles et libération des ions Na^+ .

Le long de l'axe d'écoulement principal, Yonne-Seine, le faciès bicarbonaté sodique évolue lentement vers un type *chloruré sodique* à proximité de la mer, résultat d'une invasion marine récente actuellement stabilisée.

8.9.2. Étude des radioisotopes naturels. Carbone 14 et tritium

Les eaux souterraines renferment des isotopes naturels, dits isotopes du milieu, dont certains comme le tritium, ^3H ou T et le carbone 14, sont radioactifs. Formés dans la haute atmosphère par l'action ionisante des rayons cosmiques, ou plus récemment par celle des essais nucléaires, ils sont introduits essentiellement par infiltration de l'eau des précipitations.

Au cours de leur trajet souterrain, leur radioactivité décroît en fonction du temps selon l'expression :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N_0 est le nombre d'atomes radioactifs au temps initial, t_0 ; N , le nombre d'atomes radioactifs au temps t , où la mesure a été effectuée; λ , la constante radioactive = $0,693/T$, T étant la période, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la radioactivité diminue de moitié.

Cette expression, λ , N_0 et N étant connus, permet de calculer t , le temps nécessaire au parcours

de l'eau, écoulé depuis l'instant de son infiltration. La période radioactive du carbone 14 est en moyenne de 5 730 ans et celle du tritium, de 12,3 ans.

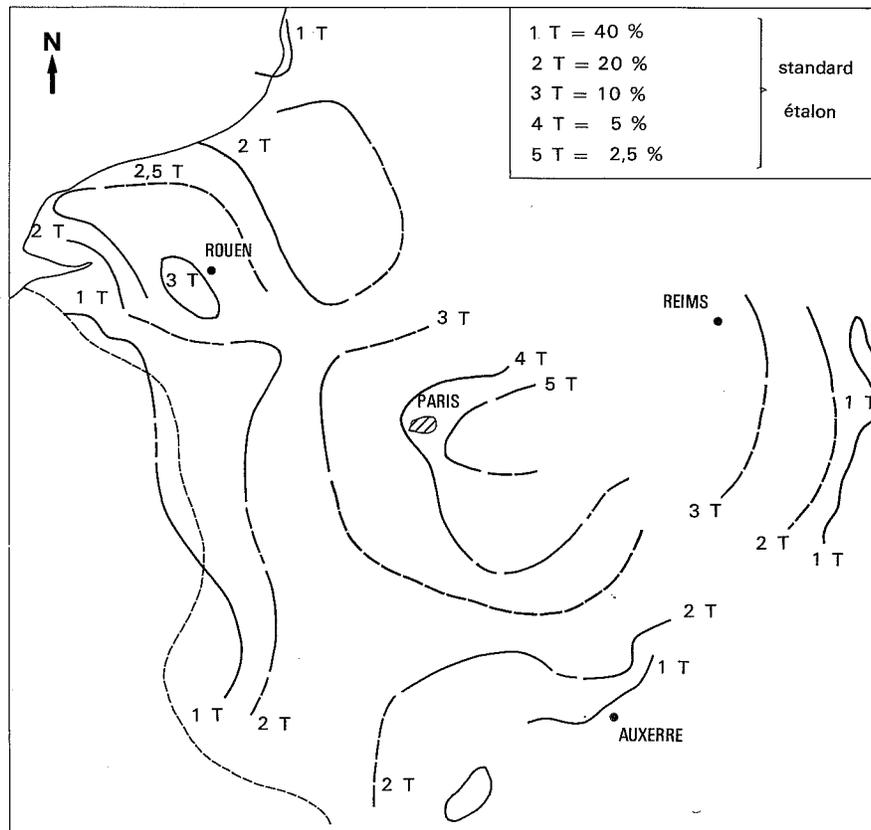
La teneur en carbone 14 est exprimée en pourcentage de la radioactivité d'un standard-étalon. Ainsi, si l'on admet qu'à l'introduction dans l'aquifère l'activité du carbone 14 est de 95 % du standard, elle sera réduite à 50 % après 5 700 ans et à 10 % après 10 000 ans environ.

La teneur en tritium est mesurée en unité tritium, U.T. Une U.T. représente 1 atome de cet isotope pour 10^{18} atomes d'oxygène.

Les dosages des radioisotopes dans les eaux souterraines permettent donc de déterminer la direction et la vitesse de terrain de l'écoulement. Cette méthode a été appliquée récemment à l'aquifère de l'Albien du bassin de Paris (VUILLAUME, 1971).

Résultats d'ensemble — Carte en courbes d'isradioactivité du carbone 14

La carte en courbes d'isradioactivité du carbone 14 (fig. 8.18) montre tout d'abord une bonne



D'après Vuillaume, 1971.

Fig. 8.18. — Carte schématique des courbes d'isradioactivité du carbone 14 dans les eaux de l'aquifère multicouche de l'Albien

Noter l'allure régulière des courbes montrant une bonne concordance avec la carte piézométrique (fig. 8.11) et une décroissance régulière de la radioactivité des bordures vers le centre du bassin.

concordance d'ensemble avec la carte piézométrique (fig. 8.11). L'espacement régulier des courbes traduit un écoulement souterrain général profond. La vitesse de terrain est de l'ordre de 3 m/an dans la région de Rouen et de 5 m/an à Auxerre et Paris.

Deux types de zones caractéristiques apparaissent :

- zones à forte activité à la périphérie du bassin, traduisant une alimentation actuelle. Ces zones intéressent non seulement les affleurements albiens orientaux, mais également des secteurs au Sud et à l'Ouest, où cette formation est recouverte par 60 à 80 m d'assises argileuses. Cette observation plaide en faveur de l'hypothèse de la percolation de l'eau des précipitations à travers les toits semi-perméables des aquifères;
- zones à faible activité de Paris et Rouen, correspondant aux exutoires identifiés par la morphologie de la surface piézométrique (fig. 8.11) : zone de pompage de la région

parisienne, drainage de la Basse-Seine. Les activités les plus faibles sont observées dans le centre de la région parisienne. Nous pouvons supposer que dans ce secteur l'effet des pompages en surexploitation fait appel, par drainance, à des eaux d'aquifères sous-jacents, plus anciens, donc de plus faible radioactivité.

Étude détaillée des zones d'alimentation orientales

L'alimentation et l'écoulement souterrain des zones orientales, en particulier en Puisaye, ont été abordés par des études de piézométrie et d'hydrochimie isotopique.

Les études piézométriques précises (PANETIER, 1969) montrent que dans la zone captive, en bordure des affleurements, le gradient hydraulique, de 3 à 6 ‰, est orienté NW-SE, c'est-à-dire en sens inverse du gradient hydraulique général de l'aquifère (tableau 8.4 et fig. 8.18, 8.19 et 8.20).

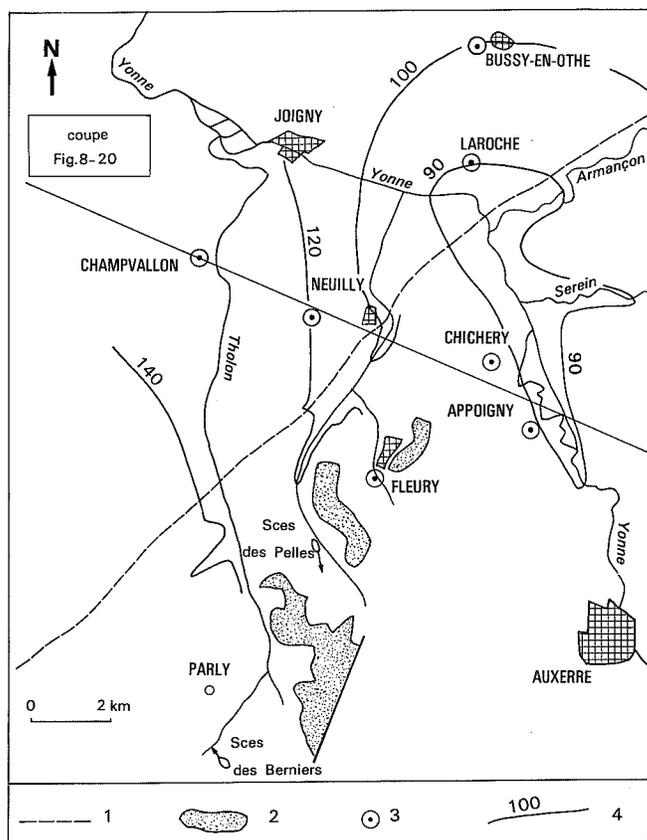


Fig. 8.19. — Région des affleurements de la formation albienne sur la bordure orientale du bassin de Paris en Puisaye

Carte schématique avec emplacement des sondages et courbes piézométriques

- 1 : contact entre la formation albienne et la Craie; 2 : affleurements de sables albiens; 3 : forage; 4 : courbe piézométrique et valeur du niveau piézométrique.

TABLEAU 8.4

Données piézométriques sur les sondages profonds dans la zone captive de l'aquifère de l'Albien de Puisaye

Nom du forage	Distance de l'affleurement (km)	Cote du sol (m)	Niveau piézométrique par rapport au sol (m)	Niveau piézométrique	Niveau piézométrique, nappe libre voisine
Champvallou	8 au NW	118,9	+ 18	136,9	100
Neuilly	3 au NW	118	+ 2	120	100
Bussy-en-Othe	10 au NW	187	- 86,40	100,40	

Les études d'hydrochimie isotopique (VUILLAUME, 1971) ont confirmé les résultats de la piézométrie (tableau 8.5 et fig. 8.20). Les eaux des sondages de Champvallou et de Neuilly, dépourvues de tritium et avec une faible teneur en carbone 14, malgré la proximité des affleurements, sont d'origine lointaine. Ces caractéristiques s'expliquent par le tracé de l'écoulement souterrain (fig. 8.20) les eaux d'infiltration traversant un recouvrement de Craie épais (150 à 200 m), puis la formation imperméable des Marnes de Brienne et des Argiles du Gault, pour être drainées par la vallée. A Chichery, dans la même zone, le trajet est plus court, la couverture de Craie étant moins épaisse. Cette théorie est confirmée par le sondage artésien de Fleury, situé sur les affleurements et captant la base de l'aquifère de l'Albien, dont les eaux sont d'origine lointaine ainsi que le prouvent l'absence de tritium et la faible teneur en carbone 14 (14,9 %). Les captages en nappe libre, sources et puits, montrent des eaux d'origine locale, avec présence de tritium et teneur très élevée en carbone 14. Nous avons cité, à titre d'exemple, le sondage de la Grande-Paroisse à 80 km des affleurements vers le N.NW (région de Montereau) où la teneur en carbone 14, très faible, confirme la longue durée de parcours souterrain.

De ces études se dégagent trois faits très importants :

- la nappe captive est drainée par les cours d'eau jusqu'à une certaine distance des affleurements (quelques dizaines de km), l'effet de drainage inversant le sens général d'écoulement souterrain;
- les aquifères libres des affleurements n'alimentent pas, ou très peu, les zones profondes;
- l'alimentation des aquifères profonds peut s'effectuer à travers les formations semi-perméables et même imperméables.

Étude de la zone d'alimentation ouest

Les fortes activités relevées dans la zone ouest indiquent que les eaux souterraines sont actuelles. Or la formation albienne n'affleure pas. Ce secteur est marqué par un dôme piézométrique de la nappe phréatique superposé à celui de l'aquifère de l'Albien.

8.10. ÉLÉMENTS DE BILAN

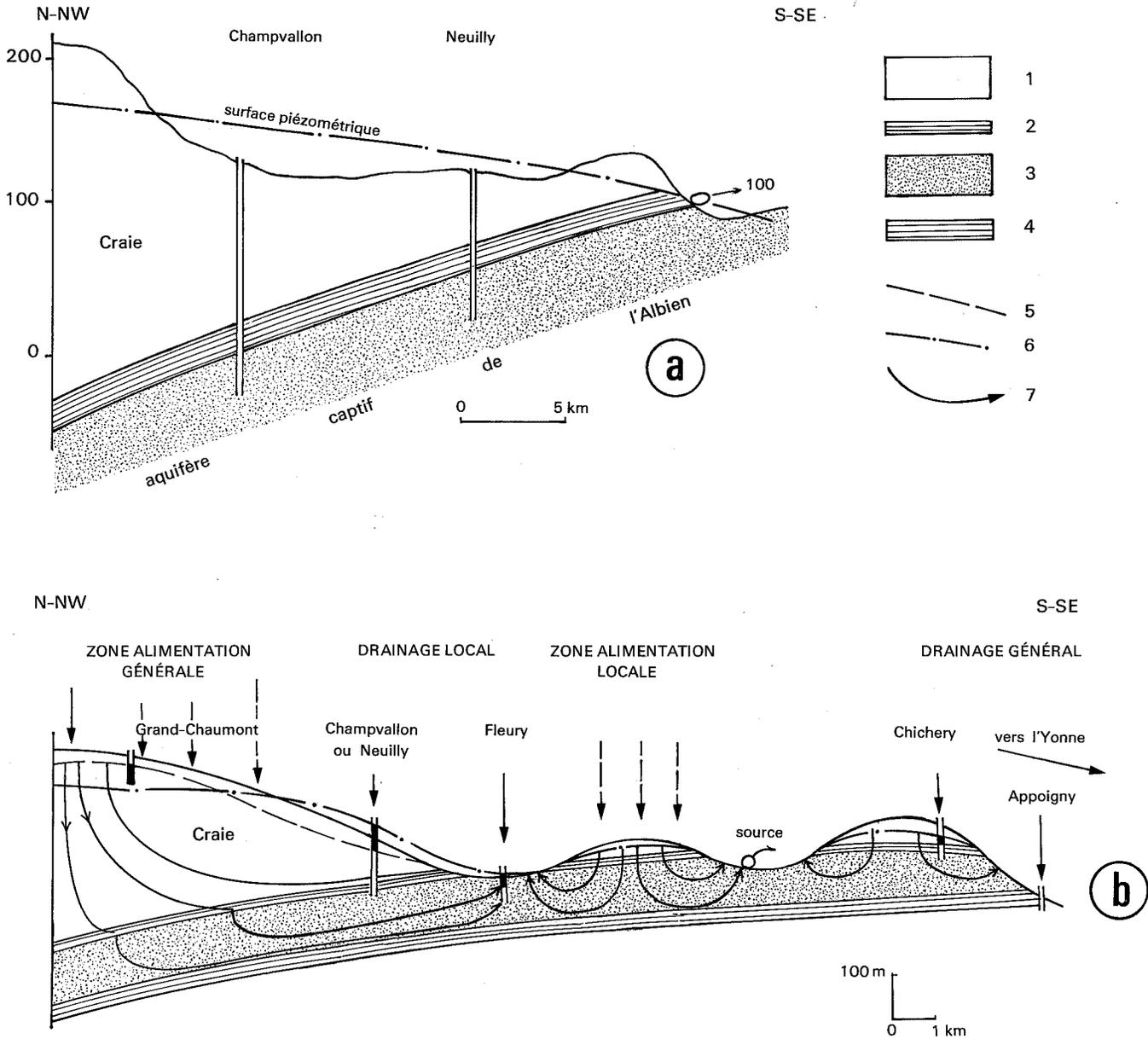
L'établissement d'un bilan des eaux souterraines pour l'aquifère multicouche de l'Albien est difficile, étant donné les nouvelles conceptions sur l'alimentation. Avec les données actuelles, il ne peut être

TABLEAU 8.5

Données d'hydrochimie isotopique sur les eaux souterraines de l'aquifère de l'Albien en Puisaye

Nom du forage ou point d'eau	Type d'aquifère	Type d'ouvrage	Teneur en tritium U.T.	Teneur en carbone 14 %
Champvallou	captive	forage		13,6 ± 0,7
Neuilly		forage		15,9 ± 0,6
Fleury		forage		14,9 ± 0,7
Chichery		forage		58 ± 1,1
Source des Pelles	libre	source	9 ± 3	91,7 ± 1
Source des Berniers		source	27 ± 5	86,7 ± 1
Parly		puits	77 ± 8	94,5 ± 0,7
Grande-Paroisse	captive	forage		3,2 ± 0,5

AQUIFÈRE DE L'ALBIEN



D'après Vuillaume, 1971, et Panetier, 1969.

Fig. 8.20. — Coupe transversale montrant le régime de l'écoulement des eaux souterraines en Puisaye (voir fig. 8.19)

a : piézométrie aux sondages de Champvallon et de Neuilly ; b : schéma détaillé des écoulements souterrains

1 : formation aquifère de la Craie ; 2 : formation imperméable des Marnes de Brienne et des Argiles du Gault (toit de l'Albien) ; 3 : formation aquifère de l'Albien ; 4 : formation d'argiles et de sables du Barrémien supérieur ; 5 : surface piézométrique de l'aquifère libre de la Craie ; 6 : surface piézométrique de l'aquifère captif de l'Albien ; 7 : lignes de courant.

envisagé. Les lacunes sont encore trop nombreuses. Une estimation récente à partir de la carte des transmissivités et avec l'appui d'un modèle mathématique a été tentée (SAROCCHI et LÉVY-LAMBERT, 1966 et

1967). Mais les résultats, ne tenant pas compte des transferts entre les aquifères à travers les formations semi-perméables, sont approximatifs et ne donnent qu'un ordre de grandeur (tableau 8.6).

TABLEAU 8.6

Bilan des eaux souterraines de l'aquifère de l'Albien (1965)

Alimentation m ³ /s		Sorties d'eau m ³ /s	
<i>Débits entrant aux limites à partir des affleurements ou d'une communication avec le Cénomaniens à l'Ouest</i>	0,67	<i>Débits supposés sortant par les émergences naturelles directes ou indirectes (Basse-Seine, Loire)</i>	0,16
		<i>Débits captés par les sondages</i>	0,57
		Total . . .	0,73

8.11. CONCLUSIONS

Le fait important à souligner concerne le comportement hydraulique des eaux souterraines et l'alimentation de la nappe. Il y a quelques années on pouvait prétendre que le renouvellement des réserves de l'aquifère multicouche de l'Albien n'était possible

que par l'infiltration de l'eau des précipitations sur les affleurements orientaux. Mais actuellement nous devons réviser cette conception et admettre que les apports sont assurés essentiellement par des transferts d'eaux souterraines à travers les formations imperméables ou semi-perméables sous-jacentes ou superposées. La plus importante est la nappe libre de la Craie.

AQUIFÈRE DE LA CRAIE

9.1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE L'AQUIFÈRE DE LA CRAIE

La Craie pure est un calcaire blanc, composé essentiellement de tests de microorganismes et de fines particules de calcaire. Mais elle contient souvent de l'argile, des silex, de l'oxyde de fer, de la glauconie, etc.

La formation de la Craie couvre la plus grande surface d'affleurements du bassin Seine-Normandie. Elle est bien délimitée entre le complexe argileux de base (Argiles du Gault-Marnes de Brienne) et les séries complexes argilo-sableuses de l'Éocène inférieur au toit.

Les affleurements dessinent une vaste auréole entourant le Tertiaire de l'Ile-de-France. Sur la bordure orientale ils dominent, par la Forêt d'Othe et la Côte de Champagne, la dépression des couches argilo-sableuses du Crétacé inférieur de la Champagne humide et de l'Argonne (fig. 9.1.). Dans ces régions la Craie renferme l'aquifère libre le plus important du bassin, tant par la surface qu'il couvre que par ses ressources en eau, régulatrices du débit des cours d'eau. Par contre, le réservoir est peu aquifère dans les régions où il est recouvert par des terrains plus récents, en Ile-de-France particulièrement. C'est pourquoi les zones de nappe captive sont limitées à une bande étroite, parallèle aux limites d'affleurements tertiaires.

Caractéristiques des vides

La Craie est une roche poreuse, fréquemment fissurée. Cette fissuration résulte de la tectonique (zones de fractures, zones de compression) et de la géomorphologie (zones de décompression et de circulation intense des vallées). Les fissures sont agrandies, élargies et développées par l'action chimique (dissolution des carbonates par le gaz carbonique) et dynamique (corrosion) des eaux souterraines. Cette évolution peut aller jusqu'au développement d'un réseau karstique. C'est pourquoi,

en général, la perméabilité est plus élevée dans les vallées et dépressions, humides ou sèches, zones d'écoulement privilégiées que sous les plateaux. Seule la Craie à fissures ouvertes présente un intérêt comme formation aquifère.

Ainsi la porosité efficace, la perméabilité et la transmissivité de la Craie sont étroitement liées aux caractéristiques des vides et en particulier de la fissuration. Les vides de la Craie sont de deux types (fig. 9.2.) :

- les *vides microscopiques*, de l'ordre de quelques dizaines de millimètres, avec les *pores* ou *interstices* ménagés entre les grains de calcite et les *microfissures*, diaclases, joints de stratification (lits minces entre les bancs);
- les *vides macroscopiques*, supérieurs à 2 mm, avec les fissures, zones de broyage, conduits et chenaux. C'est pourquoi deux réseaux de circulation des eaux souterraines se développent :
 - un *réseau de microfissures* découpant régulièrement la roche-réservoir, considérée comme un milieu continu homogène aux dimensions de quelques kilomètres cubes. L'écoulement souterrain y est du type laminaire;
 - un *réseau karstique*, composé de chenaux, de conduits, de rivières souterraines où l'eau s'écoule en régime turbulent. Des karsts sont connus dans le bassin de la Vanne, à Cannes-Écluse, dans la vallée du Loing, en Champagne et en Haute-Normandie (vallée de l'Iton près d'Évreux, grotte de la Jacqueline à l'aval de Rouen dans la vallée de la Seine).

Ces deux régimes d'écoulement coexistent parfois, comme dans le bassin de la Vanne (MÉGNIEU, 1964). Des échanges continus s'effectuent, le karst pouvant suivant la position des conduits par rapport à la surface piézométrique jouer alternativement un rôle d'alimentation ou de drainage.

EAUX SOUTERRAINES

Une étude statistique de la fissuration dans le bassin de la Vanne, en particulier des diaclases en affleurements et dans les ouvrages souterrains (galeries de captages, puits) a mis en évidence deux réseaux d'âges différents : l'un de diaclases verticales dont le grand axe correspond au pendage moyen, sans venues d'eau, l'autre de diaclases obliques, jouant

un rôle capital dans la circulation des eaux souterraines de la Craie (fig. 9.2.).

La disparition ou l'oblitération progressive de la fissuration en profondeur crée un substratum réel aux limites imprécises, indépendant des formations imperméables. Des études effectuées dans

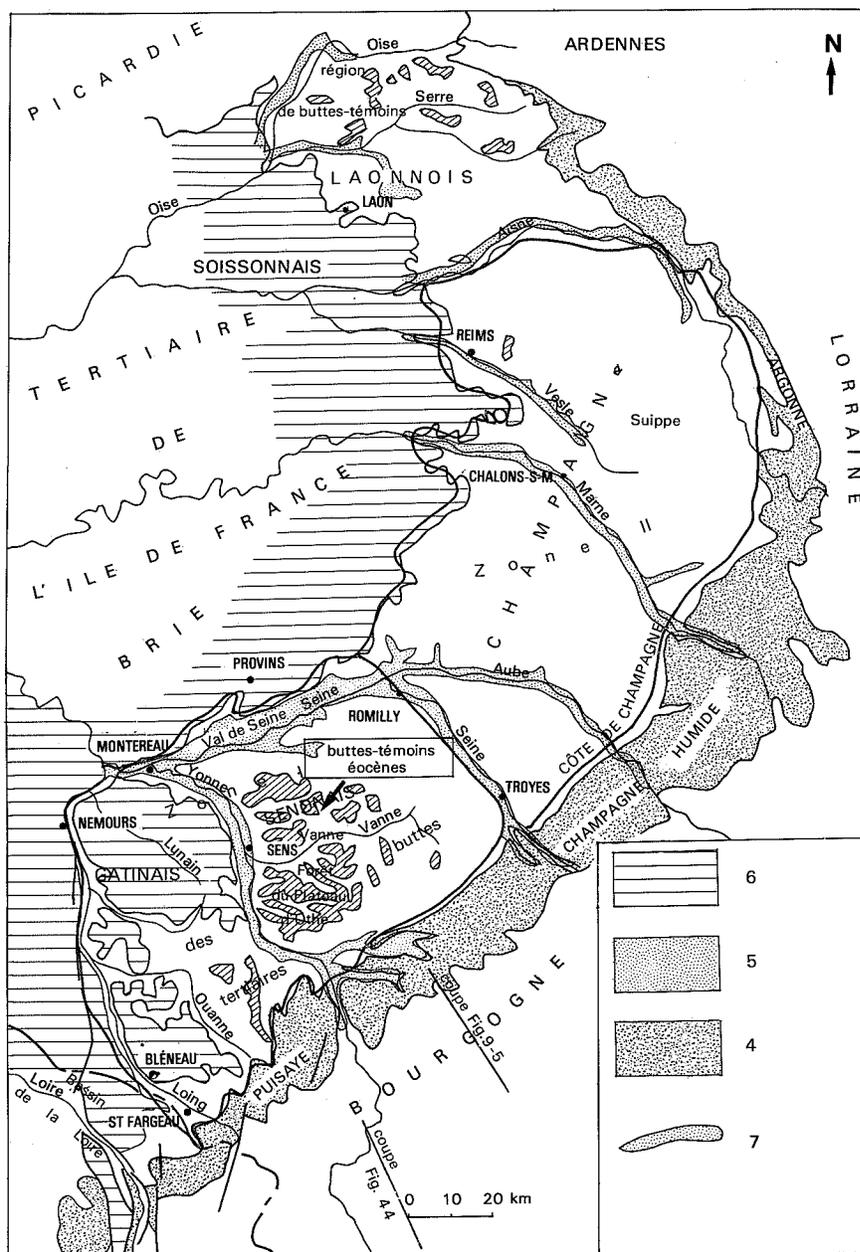


Fig. 9.1. — Zones hydrogéologiques de l'aquifère de la Craie dans la bordure est du bassin de Paris

- 4 : substratum de l'aquifère : formation albienne avec Argiles du Gault et Marnes de Brienne ; 5 : aquifère de la Craie ; 6 : formations argilo-sableuses de l'Éocène inférieur ; 7 : zones d'alluvions : aquifère complexe alluvions-Craie.

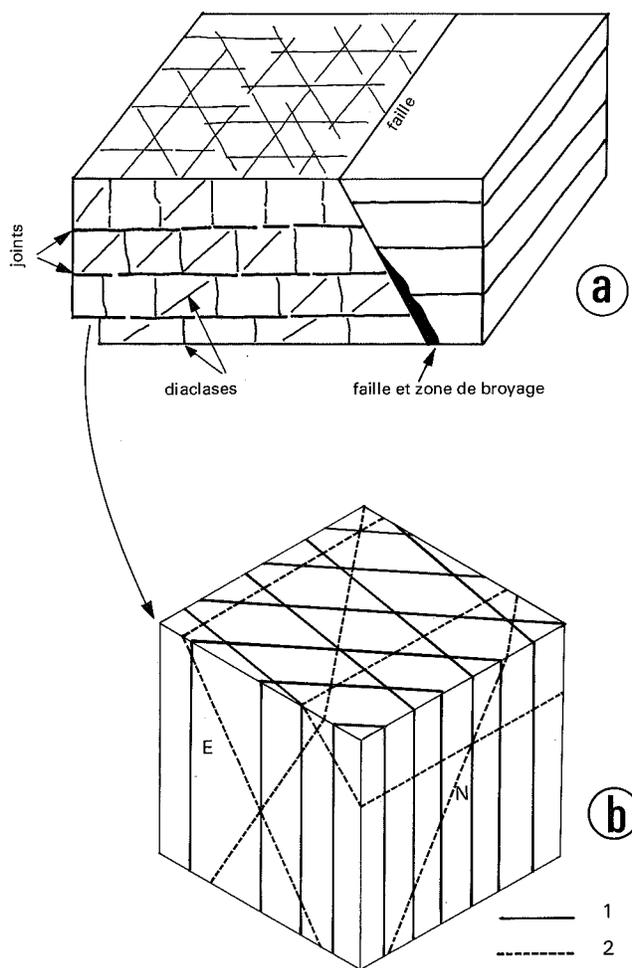
le Nord de la France, par des essais de pompage à différentes profondeurs lors du creusement des puits de mine, ont montré qu'au-dessous de 40-50 m la Craie était improductive. Près de Rouen des galeries creusées à 150 m de profondeur dans le Turonien sous la vallée de la Seine n'ont rencontré que de faibles venues d'eau isolées. En général le développement de la fissuration, faible sous les plateaux, s'accroît à l'aplomb et au voisinage des vallées, sèches surtout.

Au cours de l'histoire géologique, la Craie a subi des altérations importantes. C'est ainsi que les dépôts du Tertiaire, particulièrement développés dans le Gâtinais, ont été précédés d'une altération profonde du soubassement crayeux, accentuée au cours du Quaternaire avec le creusement des vallées actuelles. Inversement le recouvrement de la Craie par des dépôts plus récents et notamment par les Argiles à silex, réduit fortement la fissuration.

Formation principale de la Craie (Turonien supérieur et Sénonien)

La Craie se développe dans le bassin de Paris, au sein des formations du Crétacé supérieur (Cénomaniens, Turonien et Sénonien). La lithostratigraphie détaillée se diversifie suivant les régions du fait des variations latérales de faciès fréquentes dues aux apports de sédiments argileux plus ou moins développés. La localisation de réservoirs de Craie perméable est donc régionale.

Toutefois il est possible de distinguer dans toutes les zones hydrogéologiques, au sommet du Crétacé, une formation de Craie puissante se développant au Turonien supérieur et au Sénonien (tableau 9.1 et fig. 9.3). Mais localement, sur la bordure est, le faciès craie envahit le bas de la série : Turonien moyen en Gâtinais, Turonien moyen et inférieur et Cénomaniens dans l'Aube (fig.9.3).



D'après Mégnien, 1964.

Fig. 9.2. — Fissuration de la Craie

a : fissuration à l'échelle du massif : diaclases, joints, faille ;
 b : mise en évidence de deux réseaux de diaclases dans le bassin de la Vanne, verticales (1) et obliques (2).

TABLEAU 9.1

Porosités totale et efficace de la Craie du Sénonais (bassin de la Vanne) (en %), mesurées sur échantillons (microfissuration)

Formations	Nombre d'échantillons	Teneur en insolubles	Porosité totale	Porosité totale moyenne	Porosité efficace
Craie Sénonien supérieur . . .	5	0,82	39 à 47	43	0,6
Craie Sénonien inférieur . . .	8	0,7	37 à 47	40	1
Craie Turonien supérieur . . .	5	1,3	30 à 44	38,5	1
Craie Turonien moyen . . .	4	1,15	42 à 46	44	0,3
Craie Turonien inférieur . . .	7	2,86	24,5 à 42,5	41,5	0,5
Craie Cénomaniens	2	31,05	28,5 et 32,5	30,5	0,6

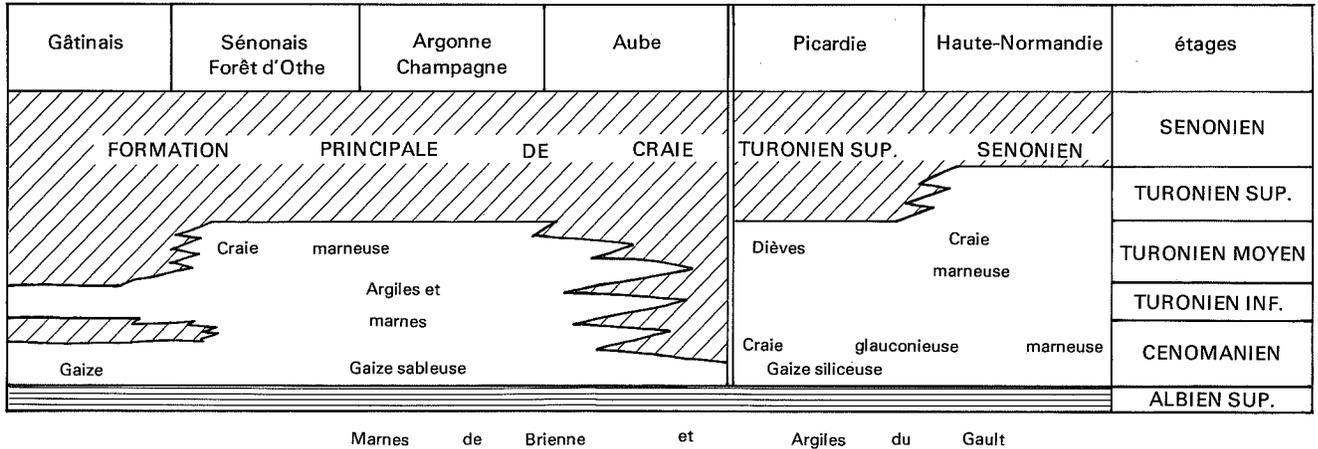


Fig. 9.3. — Schéma des formations aquifères de la Craie

Le réservoir principal est constitué par la Craie du Turonien supérieur-Sénonien, pouvant descendre dans le Turonien moyen (Gâtinais) et même le Cénomaniens (Est de la Marne et Aube). Noter en Gâtinais un petit réservoir de Craie cénomaniens

Conditions de localisation d'aquifères dans le Crétacé supérieur

La localisation d'une zone favorable aux captages dans la Craie exige, en plus de la présence d'un bassin d'alimentation suffisant, la satisfaction de trois conditions essentielles :

- la présence d'une formation de Craie, riche en carbonate de calcium et relativement pauvre en matières minérales insolubles, ce dont on se rend compte par l'étude fine de la lithostratigraphie;
- une porosité de fissure importante généralement d'origine tectonique (rajeunissement des structures par des déformations récentes, présence de zones de fractures) et géomorphologique impliquant une situation privilégiée dans les vallées et dépressions;
- les circulations d'eaux souterraines provoquant l'ouverture et l'élargissement des fissures : géomorphologie réglant le niveau de base d'écoulement souterrain (fonds de vallées et dépressions);

Dans les vallées la Craie, en communication totale avec les alluvions, forme avec celles-ci un aquifère multicouche unique important.

Caractéristiques hydrogéologiques

Porosité totale. La porosité totale de la Craie est très élevée. Des mesures effectuées sur des échantillons prélevés aux affleurements dans le Sénonais du bassin de la Vanne ont donné les résultats consignés dans le tableau 9.1.

Porosité efficace et coefficient d'emmagasinement. La porosité efficace mesurée sur les mêmes échantillons en laboratoire est de 0,3 à 1 % (tableau 9.1).

Mais il s'agit de la porosité efficace correspondant à la microfissuration. Ces données ont été confirmées par l'étude de la vidange des aquifères, en particulier du bassin hydrogéologique de la Vanne (MÉGNIEU, 1964). La méthode utilisée est basée sur le calcul du volume d'aquifère, compris entre deux surfaces piézométriques, donc équivalent au volume d'eau de vidange mesuré aux exutoires pendant le même intervalle de temps. Le coefficient d'emmagasinement moyen obtenu, lequel peut en première approximation être considéré comme égal à la porosité efficace en nappe libre, est de 2 %.

Une détermination du coefficient d'emmagasinement moyen a été effectuée dans le bassin de la Suippe (Champagne) à partir des variations de niveaux piézométriques entre deux campagnes de mesures synchrones et le déficit en eau du bassin au cours de cette même période (mesures en crue et en étiage). Il est de 2,5 %. Les variations de la surface piézométrique étant fonction de ce coefficient, les autres variables supposées constantes, il a été possible d'établir le tableau de correspondance (tableau 9.2).

TABLEAU 9.2

Tableau de correspondance entre l'amplitude des variations de la surface piézométrique et les coefficients d'emmagasinement, en Champagne.

Amplitude de variation de la surface piézométrique (mètres)	Coefficient d'emmagasinement (%)
0,80	5
1,50	4
3,50	3
7,50	1,2

Perméabilité et transmissivité. La perméabilité de la Craie, essentiellement fonction des caractéristiques de la fissuration (densité, ouverture, orientation des fissures), est très variable, de 10^{-3} à 10^{-5} m/s. En général une Craie fissurée productive a une perméabilité de l'ordre de 5.10^{-4} m/s.

La transmissivité moyenne, en Champagne, est de 10^{-2} m²/s dans les vallées, 10^{-3} m²/s dans les vallons secs et de 10^{-4} à 10^{-5} m²/s sous les plateaux (fig. 9.4).

Vitesse de terrain de l'écoulement souterrain. De nombreuses colorations par des moyens divers, de la levure de bière (essais anciens) à la fluorescéine, ont permis dans de nombreuses régions de déterminer la vitesse réelle de l'écoulement (vitesse de terrain) dans la formation de la Craie supérieure. Elle est de 4 000 m/j pour la moyenne de 34 expériences dans le bassin de la Vanne, 2 400 à 3 000 m/j dans la vallée de l'Iton (région de Rouen), 3 000 à 3 500 m/j en Champagne. Ces essais donnent des valeurs moyennes dans les cheminements préférentiels. La comparaison, pour les sources importantes, des variations de la résistivité de l'eau, des débits et du régime des précipitations sur le bassin versant hydrogéologique, met en évidence des retards de 1 à 2 mois entre les maxima pluviométriques et les augmentations de débits des sources. Cette obser-

vation montre la lenteur de l'écoulement souterrain dans ces bassins où les points les plus éloignés se situent à 15 km des émergences. Dans le réseau de microfissures la vitesse est encore plus faible (quelques dizaines de mètres par jour).

Caractères généraux de la piézométrie

Les caractères généraux de la piézométrie de l'aquifère de la Craie seront dégagés, les particularités régionales étant décrites à propos de l'étude de chaque zone hydrogéologique.

Morphologie de la surface piézométrique — Carte piézométrique

L'inventaire des nombreux points d'eau a permis de dresser une carte piézométrique, valable, pour l'ensemble de l'aquifère de la Craie (planches 4 et 5). Parfois, comme en Champagne, lorsque les campagnes sur le terrain (2 000 ouvrages) ont été étalées sur plusieurs mois (avril-septembre), les relevés ne sont pas synchrones et la carte piézométrique obtenue donne une vue globale sans être représentative d'une période déterminée.

L'existence d'une surface piézométrique cohérente et régulière confirme, s'il en est besoin, l'existence d'un aquifère libre de type classique dans les

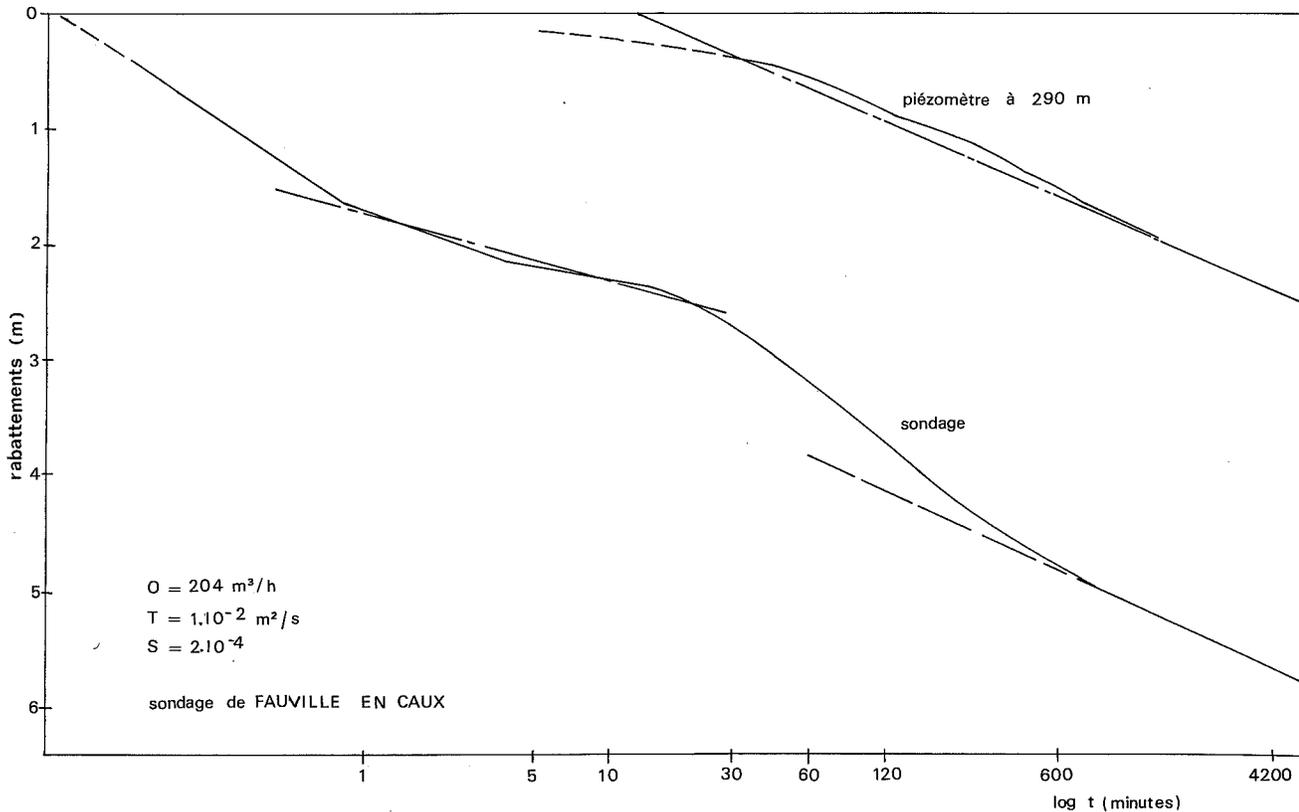


Fig. 9.4. — Représentation graphique d'un pompage d'essais dans l'aquifère de la Craie

formations de la Craie. La surface piézométrique épouse le modelé topographique en atténuant ses irrégularités. Les reliefs sont les zones de recharge (alimentation directe) et les dépressions (vallées, vallons secs ou humides) les drains principaux.

L'écoulement général des eaux souterraines s'effectue ainsi des plateaux vers les thalwegs. La surface piézométrique est plus profonde, fréquemment de 40 à 50 m, sous les plateaux que dans les grandes vallées où elle se raccorde progressivement à celle de l'aquifère des alluvions. Dans ces secteurs les courbes piézométriques s'identifient avec celles de l'aquifère multicouche alluvions-Craie. En Sénonais les vallées (Val de Seine, Vanne), dont la direction est parallèle à l'orientation des couches géologiques, jouent un rôle de drainage prépondérant. Par contre l'Yonne draine faiblement bien que recoupant perpendiculairement toute la formation (fig. 9.1.)

Sous les plateaux les courbes piézométriques très rapprochées confirment la faible perméabilité due aux caractéristiques défavorables de la fissuration (oblitération ou fermeture). L'espacement est encore plus petit à proximité du recouvrement tertiaire, la formation de la Craie devenant pratiquement imperméable. Les courbes piézométriques dans les vallées sèches et humides s'espacent nettement.

Fluctuations de la surface piézométrique

Les fluctuations de la surface piézométrique, importantes en amplitude et irrégulières dans l'espace, posent souvent de difficiles problèmes d'interprétation et de corrélations. Les baisses ou les élévations de niveaux piézométriques dépendent de plusieurs facteurs, en particulier du volume d'eau infiltré (taux d'infiltration) durant une période donnée et de la vitesse d'infiltration, très rapide en affleurements de formations karstiques, plus faible en Craie peu fissurée. Cette vitesse, très lente, provoque des décalages dans le temps entre une forte précipitation et la remontée consécutive du niveau piézométrique lorsque les eaux souterraines sont d'abord emmagasinées dans des formations semi-perméables puis restituées progressivement. Enfin les variations observées dépendent de la porosité efficace ou du coefficient d'emmagasinement de la roche-réservoir (tableau 9.2).

Ces causes expliquent des comportements très différents. Dans le bassin de la Vanne, par exemple, où il existe un karst développé sous les nombreuses vallées sèches, les variations annuelles du niveau piézométrique sont très rapides et peuvent atteindre une amplitude de 15 à 20 m contre 5 m sous les plateaux voisins. Au contraire à l'aval d'une vallée sèche ou à proximité d'une rivière à écoulement pérenne, le niveau des émergences est stable. Les variations sont très faibles, de l'ordre du mètre. Mais de nombreux exemples apportent des données

en apparence contradictoires : variation du niveau piézométrique faible dans les vallées sèches et importante dans les zones de plateaux. Ces faits indiquent la présence de vallées à fissuration dense ou d'un karst entièrement noyé.

L'amplitude de fluctuation, faible dans les vallées ou vallons (de l'ordre de 1 à 5 m), est très importante sous les plateaux (souvent supérieure à 10 m, atteignant parfois 15 m et exceptionnellement 20 m).

Zones hydrogéologiques. Pour la commodité de l'étude nous distinguerons quatre zones hydrogéologiques (planches 4 et 5 et fig. 2.3) :

- la zone hydrogéologique du Gâtinais-Sénonais;
- la zone hydrogéologique de Champagne;
- la zone hydrogéologique de Normandie-Picardie;
- la zone hydrogéologique d'Ile-de-France.

9.2. AQUIFÈRE DE LA CRAIE EN GATINAIS-SÉNONAIS

9.2.1. Cadre général

Succédant vers l'Ouest et le N.NW aux affleurements de la formation albienne, dont il est séparé par le complexe des Argiles du Gault-Marnes de Brienne, l'aquifère de la Craie s'étale largement sur plus de 6 000 km², en une vaste région couvrant le Gâtinais et le Sénonais (Forêt d'Othe) (fig. 9.1). Il est recouvert par les formations argilo-sableuses de l'Éocène inférieur, qui forment les Côtes de l'Ile-de-France et qui dominent la rive droite du Val de Seine entre Romilly-sur-Seine et Montereau.

La limite méridionale du bassin de la Seine passe au Sud du Gâtinais, à quelques kilomètres (10 à 15 km) au Nord de la Loire vers Saint-Fargeau-Bleneau (fig. 9.1).

Cette région hydrogéologique, limitée au S.SW par la vallée du Loing, s'étend au NE jusqu'à la Seine, de Troyes à Romilly-sur-Seine. Elle est caractérisée par des plateaux de Craie de faible altitude recouverts de formations superficielles ou de formations argilo-sableuses du Tertiaire, disposées en manteau continu, en placages isolés ou en buttes-témoins, favorisant le développement des forêts (Forêt d'Othe). Cette couverture devient plus importante du N.NE vers le S.SW, de la Seine à la Loire. La Craie affleure largement dans le Nord du Sénonais où la formation superficielle d'Argile à silex, de sables et de galets est localisée, tandis que dans le Sud, en Forêt d'Othe, elle couvre de larges surfaces. Dans le Gâtinais les formations argilo-sableuses du Ter-

tière et les dépôts résiduels (Argile à silex, Argiles à chailles) constituent un recouvrement continu épais de 10 à 20 mètres, voire plus. La Craie n'affleure que dans les vallées.

La région est traversée par les lits étroits du Loing et de ses affluents de la rive droite (Ouanne, Lunain) et les larges vallées, comblées de dépôts alluvionnaires de l'Yonne rejointe par la Vanne à Sens et de la Seine. Le Val de Seine, entre Nogent-

sur-Seine et Montereau, la borde également au NW avec un aquifère multicouche Craie-alluvions très important.

9.2.2. Description sommaire du réservoir

La formation de Craie principale sénonienne (Turonien-Sénonien) est décrite par le tableau 9.3 et les figures 9.3 et 9.5.

TABLEAU 9.3

Lithostratigraphie du Crétacé supérieur du Gâtinais-Sénonais (Sud et SE du bassin de la Seine)

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables ou imperméables	Chronostratigraphie	
10-20	Couverture de dépôts éocènes en placages et buttes		ÉOCÈNE INFÉRIEUR	
		Marno-calcaires et marnes, calcaires pisolithiques	DANO-MONTIEN	
350-450	Formation de Craie supérieure Craie blanche, compacte, fissurée, karstique Craie grise et blanche		SÉNONIEN	
			sup.	TURONIEN
			moyen	
inf.				
quelques mètres		Craie grise marneuse avec niveaux marneux		
30-50	Formation de Craie inférieure Craie dure (à Ammonites), glauconieuse à la base Gaize crayeuse		CÉNOMANIEN	
			VRACONIEN	
30-40		Marnes de Brienne Argiles du Gault	ALBIEN SUPÉRIEUR	

Formation de Craie inférieure cénonienne

Dans le Sud de la région, dans le Gâtinais en particulier, une formation de 30 à 50 m de Craie blanche, dure, à gros silex, se développe dans le Cénomaniens. Quoique riche en éléments argileux (20 à 40 % d'insolubles) elle constitue un bon réservoir aquifère. A la base la Gaize, roche crayeuse, riche en débris et concrétions siliceuses, passant localement à une Craie marneuse et siliceuse, doit être considérée comme une formation perméable.

Formation semi-perméable

Elle est représentée par une intercalation de quelques mètres de Craie marneuse grise, sans silex,

attribuée au Turonien inférieur. C'est l'équivalent des Dièves du Nord de la France.

Formation de Craie supérieure sénonienne

La formation de Craie supérieure, très puissante (350 à 450 m), est bien développée sur toute la région. Elle est attribuée aux étages Turonien moyen, Turonien supérieur et Sénonien (tableau 9.3). C'est une Craie blanche, compacte, renfermant des silex à la partie supérieure et très fissurée avec un karst très développé dans le bassin de la Vanne (Forêt d'Othe). La teneur en argiles (insolubles) diminue graduellement de la base vers le haut du réservoir : Turonien inférieur, 2,8 %; Turonien moyen, 1,15 %; Turonien supérieur, 1,30 %; Sénonien, 0,7 %.

TABLEAU 9.4

Bilan des eaux souterraines du bassin de la Vanne :
sources de Cochepies et sources Hautes
(période 1952-1964)

Hauteur de précipitations moyenne annuelle	700 mm
Infiltration moyenne annuelle	120 mm
Infiltration annuelle maximale en 1959	170 mm
Infiltration annuelle minimale en 1964 (plus forte baisse de débit des sources depuis 1909)	80 mm

9.2.3. Description structurale sommaire

Les formations plongent, comme l'ensemble de l'auréole sédimentaire, vers le N.NW avec des pentes moyennes de 1 à 2 % (fig. 9.5). Elles sont accidentées par une tectonique cassante (failles et diaclases) et une tectonique souple (légères rides anticlinales, dômes et cuvettes). Il en résulte l'apparition, dans la régularité des couches, d'anomalies structurales locales importantes (pendages orientés vers le Sud par exemple) difficiles à identifier car les repères lithologiques sont très rares au sein de la masse de Craie. Des études de micropaléontologie et des diagraphies dans les sondages sont alors très utiles.

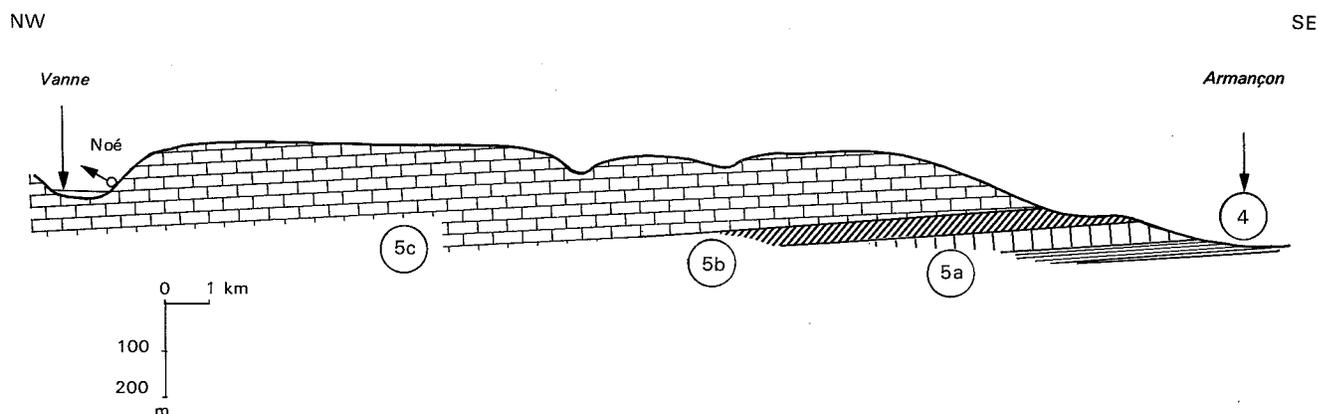


Fig. 9.5. — Succession des formations géologiques du plateau d'Othe (bassin de la Vanne)

4 : substratum des Marnes de Brienne et des Argiles du Gault (Albien supérieur); 5a : formation aquifère de la Craie inférieure (Cénomanién); 5b : formation imperméable du Turonien inférieur; 5c : formation aquifère de la Craie supérieure (Turonien moyen et supérieur-Sénonien).

9.2.4. Considérations générales sur l'aquifère de la Craie dans le Gâtinais-Sénonais

Les deux formations de Craie, reconnues par la lithostratigraphie, constituent deux aquifères :

- l'aquifère inférieur du Cénomanién;
- l'aquifère supérieur du Turonien-Sénonien.

Bien que ces nappes soient individualisées, la formation semi-perméable qui les sépare ne constitue pas un écran. Ainsi en Gâtinais, la localisation de sources importantes dans l'aquifère inférieur ne peut s'expliquer que par une alimentation provenant de la nappe supérieure.

Le substratum, constitué par une formation argileuse, ne réalise pas davantage un écran ainsi qu'il a été démontré lors de l'étude de l'aquifère de l'Albien.

La couverture de formations superficielles ou argilo-sableuses du Tertiaire joue un rôle hydro-

géologique complexe par sa nature semi-perméable. Les communications entre aquifères sont certaines. Des nappes temporaires apparaissent avec les fluctuations pluviométriques saisonnières et leurs eaux rejoignent le plus souvent le réservoir de la Craie.

Dans les vallées, l'aquifère de la Craie est en communication avec celui des alluvions qu'il alimente.

9.2.5. Sources et régime des sources

Description des sources

Aquifère inférieur cénomanién. Les sources alimentées par l'aquifère inférieur sont assez nombreuses. Apparaissant régulièrement au pied de la cuesta surplombant la dépression du Crétacé inférieur (Puisaye) elles atteignent des débits de 10 à 100 m³/h. Les variations annuelles de débits sont souvent importantes, la superficie des bassins et le volume des réservoirs étant faibles.

Aquifère supérieur turonien-sénonien. Les sources de l'aquifère supérieur présentent deux types liés à leur localisation : sources de déversement à contre-pendage au pied de la cuesta turonienne (revers du Pays d'Othe et cuesta de Joigny-Toucy), sources d'émergence dans les vallées entaillant la Craie. Ces dernières sont les plus importantes par leur nombre et leur débit (150 à 400 m³/h). Deux régions sont particulièrement riches en sources : la vallée de la Vanne et la vallée du Loing et du Lunain. La ville de Paris y a réalisé de grands travaux de captages pour son alimentation en eau avec des débits moyens de 160 000 m³/j à la Vanne et de 90 000 m³/j au Loing-Lunain.

Tarissement des sources

Certaines sources tarissent en été, notamment celles qui apparaissent à contre-pendage et dont le bassin d'alimentation est petit. Les sources d'émergence, situées en aval pendage, ont des débits plus constants (fig. 9.6). Les variations annuelles ont un

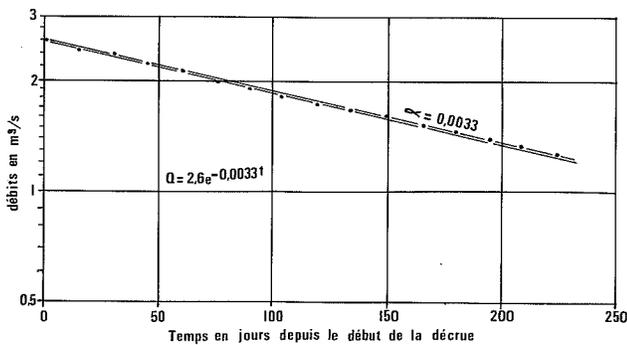


Fig. 9.6. — Courbe de tarissement des sources de la Vanne. Décrue du 15 avril au 1^{er} décembre 1970

indice inférieur à 2,5. Les sources des vallées sèches, apparaissant à l'intersection de la surface piézométrique avec le profil du thalweg (fig. L.6), changent de localisation avec la variation du niveau de la nappe.

9.2.6. Piézométrie. Morphologie de la surface piézométrique

La morphologie de la surface piézométrique permet de distinguer trois zones hydrogéologiques, deux dans le Sénonais et une dans le Gâtinais (planche 4 et fig. 9.1) :

- la zone hydrogéologique du Plateau d'Othe drainée par l'Yonne et son principal affluent rive droite, la Vanne (bassin de la Vanne);
- la zone hydrogéologique du Sénonais septentrional drainé par le Val de Seine;

- la zone hydrogéologique du Gâtinais où, à part une mince bande drainée par l'Yonne, les eaux souterraines s'écoulent en quasi-totalité vers la vallée du Loing. Le secteur SW appartient au bassin de la Loire.

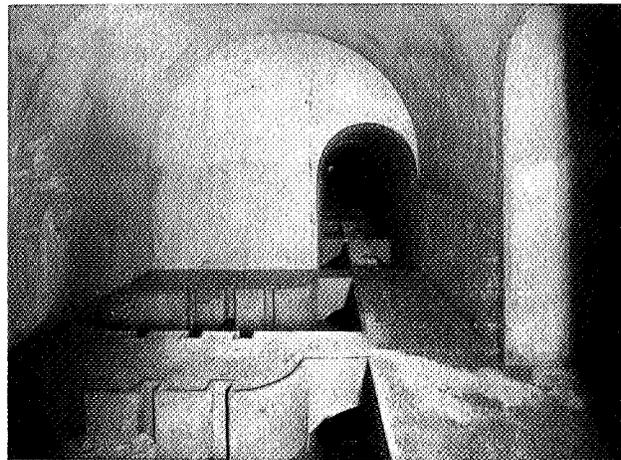
Les *gradients hydrauliques* sont très variables. En moyenne de 1.10⁻³ sous les vallées et de 5.10⁻³ sous les collines dans la région hydrogéologique du Plateau d'Othe, ils atteignent un minimum dans le Sénonais septentrional (5.10⁻⁴) et 1.10⁻³ vers la vallée du Loing.

9.2.7. Captages

Tous les captages importants sont situés dans les vallées. Ils sont de deux types : captages de sources d'émergence de la Craie ou puits dans les alluvions, ces derniers servant en quelque sorte de relai d'exploitation. Les ressources de ces deux réservoirs constituent une seule unité hydrologique.

Captages des sources d'émergences de la Craie

Dans ce type d'exploitation les sources ont été captées surtout par des galeries creusées dans la Craie, parfois sur des longueurs atteignant plusieurs centaines de mètres (Sources d'Armentière dans la Vanne, galeries de Nemours) (fig. 9.7). Mais il existe également des captages de sources par puits de très grand diamètre, véritables bassins excavés sur l'ancienne émergence naturelle. Présentant presque tous un artésianisme de quelques centimètres ou



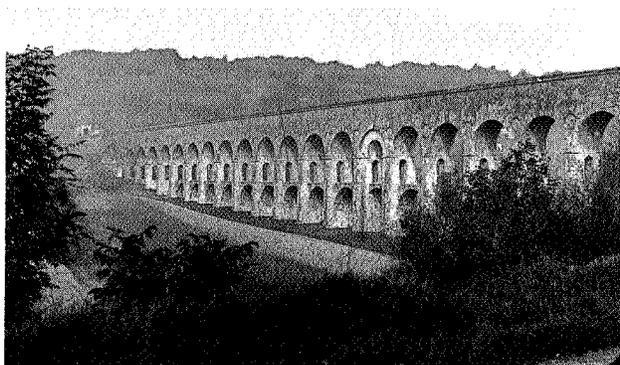
(Photo Direction des services industriels et commerciaux)

Fig. 9.7. — Galerie de captages

Type de captage par galerie pour l'alimentation de Paris. Ce type de captage était utilisé pour exploiter des nappes situées dans les calcaires à faible pendage. On complète l'ouvrage en faisant dans la galerie des puits et forages, non représentés sur la photographie. Ils permettent de recouper de façon beaucoup plus complète le réseau de fissures aquifères.

EAUX SOUTERRAINES

quelques décimètres par rapport au sol, leurs eaux sont généralement simplement collectées, puis pompées dans les conduites. Ce type de captage a été surtout adopté par la ville de Paris : sources du bassin de la Vanne, Cochebies, Cerilly et sources de la vallée du Lunain (fig. 9.8).



(Photo Direction des services industriels et commerciaux)

Fig. 9.8. — Arcades de Pont-sur-Yonne.
Adduction des eaux de la Vanne

Les eaux de la Vanne furent captées entre 1854 et 1870 dans les Calcaires du Sénonien près de Sens, dans le cadre d'un programme d'exploitation des eaux souterraines dû à Belgrand qui fit passer le débit à Paris de 87 000 à 400 000 m³/j entre 1854 et 1878. Les captages de la Vanne constituent la pièce maîtresse de ce programme, et la dernière réalisée. Ils envoient depuis 100 ans à Paris environ 150 000 m³/j d'eau d'excellente qualité.

Captages par puits de l'aquifère multicouche Craie-alluvions

Depuis une vingtaine d'années la méthode de captage de l'aquifère multicouche Craie-alluvions par puits et forages s'est développée pour être actuellement la seule adoptée en vue de l'obtention de débits importants. La ville de Paris a notamment utilisé ce type pour compléter et augmenter les débits des grands aqueducs (captages complémentaires de Pont-sur-Yonne et de la Grande-Paroisse notamment). C'est également cette solution qui sera retenue pour l'exploitation du gisement du Val de Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau.

9.2.8. Bilan des eaux souterraines

Dans le Sénonais et le Gâtinais la hauteur de précipitation annuelle moyenne varie de 600 à 850 mm. Le bilan global de l'eau est difficile à calculer par suite d'un manque presque total de données sur le débit des cours d'eau secondaires. Les débits obtenus aux stations de jaugeage amont et aval sur les grandes rivières (Seine, Yonne, Loing) sont inutilisables car l'ordre de grandeur de la différence entre les débits est le même que celui de la précision des mesures.

Par contre l'exploitation des données sur des bassins hydrogéologiques bien individualisés dont l'écoulement souterrain aboutit à des sources jaugées, permet d'établir un bilan des eaux souterraines valable. Ainsi pour le bassin de la Vanne MÉGNIEN a obtenu les résultats du tableau 9.4.

L'analyse des courbes de tarissement des sources a donné une valeur des réserves de l'aquifère de la craie alimentant ce tarissement de 72 millions de m³ (fig. 9.6) pour le bassin de la Vanne.

Des évaluations de bilan tentées par la même méthode sur les bassins des sources du Loing et du Lunain donnent des résultats légèrement différents, provenant sans doute de l'incertitude sur les limites des réservoirs.

Nous remarquerons que lorsque les eaux alimentant les émergences de l'aquifère de la Craie transitent par un aquifère alluvial important, l'emmagasinement élevé (coefficient d'emmagasinement de 8 à 10 %) de ce dernier provoque la régularisation des apports, augmentant ainsi les réserves régulatrices interannuelles. A titre d'exemple, dans le Val de Seine, une remontée d'un mètre de la surface piézométrique de l'aquifère des alluvions, par apports des coteaux, correspond à un emmagasinement souterrain de 18 millions de m³ sur une surface de vallée de l'ordre de 200 km².

9.2.9. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines

Températures et résistivités de l'eau

Les températures de l'eau des sources de l'aquifère de la Craie sont en général très stables. Des études effectuées sur les émergences du bassin de la Vanne indiquent des températures moyennes annuelles comprises entre 11 et 12 °C, avec un minimum en février-mars et un maximum en août-septembre. Pour les principales sources cet écart annuel est compris entre 0,3 et 0,85 °C. Les variations annuelles sont plus importantes lorsque les eaux de la Craie se mélangent à celles de l'aquifère alluvial (1 à 2 °C pour les alluvions de la Vanne, 3 °C pour celles du Val de Seine). Avec les puits atteignant l'aquifère de la Craie, dans les vallées à écoulement karstique, les variations de températures sont plus importantes que dans les ouvrages des plateaux. Ce phénomène est la conséquence de l'apport massif d'eau froide, en hiver, par le karst.

Les résistivités des eaux de sources atteignent une moyenne de 2 000 ohm.cm (1 800 à 2 400 ohm.cm). Des mélanges avec l'eau des alluvions peuvent abaisser la résistivité jusqu'à 1 500 ohm.cm (tableau 9.5). Dans le bassin de la Vanne, les valeurs oscillent entre 2 300-3 200 ohm.cm avec des variations

annuelles de 100-400 ohm.cm. Certains pics de résistivité observés pendant de courtes périodes, indiquent généralement des apports karstiques (fig. 9.9).

Composition chimique

L'aquifère de la Craie étant hétérogène, la composition chimique des eaux souterraines n'a de sens hydrochimique que si elle est rapportée à des sources à gros débits, lesquelles représentent réellement une moyenne. Les puits peu exploités, par exemple, donnent des valeurs dépourvues de signification. Les eaux sont de faciès *bicarbonaté calcique*, moins chargées en carbonates que celles du Jurassique.

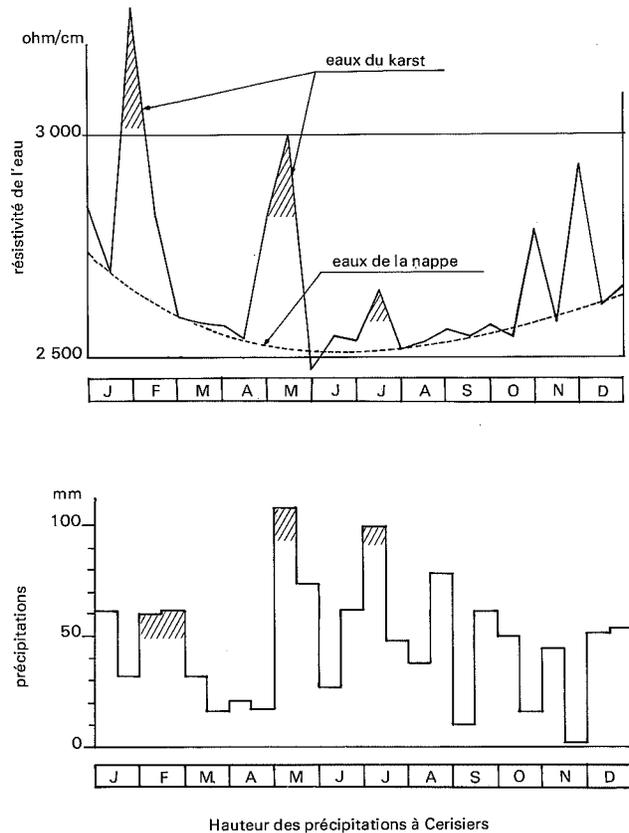
La teneur en sulfate de fer de l'aquifère inférieur est probablement due à l'altération en gypse et en limonite de la pyrite. Localement des augmentations sensibles en sulfate de fer peuvent s'expliquer par le lessivage de lentilles argileuses des formations tertiaires (CLAIR, 1966).

Dans le bassin de la Vanne, pour 15 sources, le degré hydrotimétrique varie de 19,4 à 24,3 degrés français; la teneur en CaO, de 106 à 128 mg/l; en chlore de 4 à 5 mg/l; en SO₃ de 7 à 9 mg/l; en MgO de 3 à 7 mg/l et en azote nitrique de 2 à 3 mg/l (tableau 9.5 et fig. 9.10).

9.2.10. Alimentation naturelle et régulation

Dans les zones hydrogéologiques où la Craie affleure très largement, l'alimentation du réservoir ne pose pas de problème. Elle s'effectue naturellement sur l'impluvium de l'aquifère libre, à l'exception des vallées lorsque les alluvions comportent des niveaux argileux mettant localement la nappe en charge. En règle générale les eaux de la Craie alimentent les cours d'eau soit directement, soit par l'intermédiaire de l'aquifère des alluvions. Elles

contribuent même à la recharge des aquifères profonds, notamment de l'Albien.



D'après Mégnien, 1967.

Fig. 9.9. — Relations entre la résistivité des eaux souterraines et les précipitations. Bassin de la Vanne : Source de Noé (1958).

Les pics de résistivité correspondent aux eaux du karst qui est alimenté rapidement par les précipitations.

TABLEAU 9.5

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère de la Craie

Zone hydrogéologique	Nombre d'analyses	Résistivité moyenne ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l				
				Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Sénonais	66	2 155	29	12,5	8,5	82	2	
Val de Seine amont	53	2 054	28,5	15,5	15,5	100	2,5	
Val de Seine aval	27	1 574	32	20,5	55	112	18	
Vallée de l'Oise	29	1 363	47	27	75	130	12	
Vallée de la Remarde, de l'Orge, de l'Eure	21	2 163	25,5	21	17	97	9	
Méandres de Boulogne, Croissy, Poissy	57	1 264	42	32	80	120	12	0,25

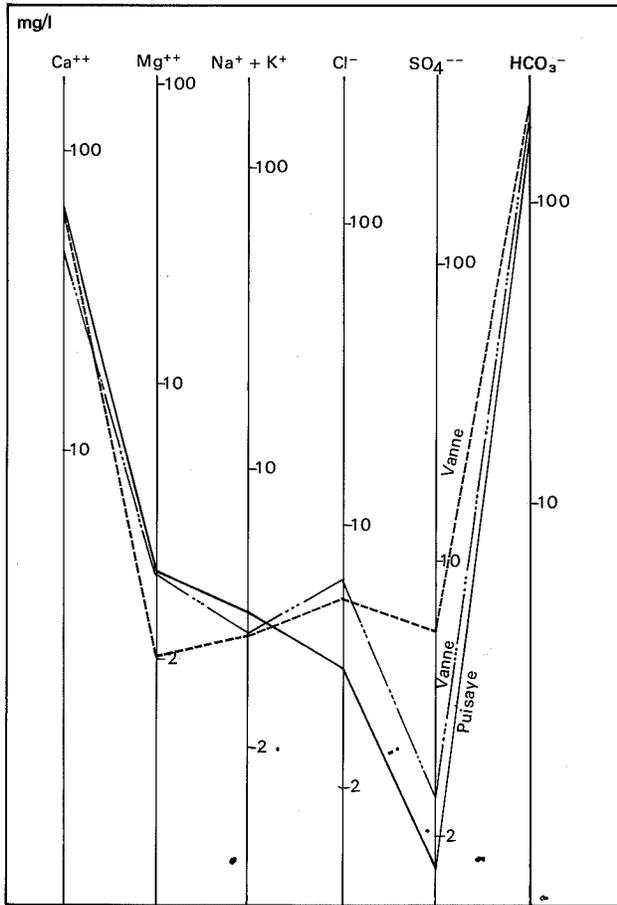


Fig. 9.10. — Diagrammes logarithmiques des eaux du Crétacé supérieur de la Puisaye orientale et des sources du bassin de la Vanne

L'exploitation intensive et désordonnée sans plan établi et sans soucis de conservation des eaux souterraines, des sables et graviers dans les vallées

de la Seine, de l'Yonne et du Loing, supprime avec la roche-réservoir les réserves régulatrices et le drain collecteur naturel qu'elles constituent. Il est donc à craindre dans un proche avenir que les variations naturelles des réserves de l'aquifère de la Craie, non soutenu par la nappe libre des alluvions, deviennent plus importantes.

9.3. AQUIFÈRE DE LA CRAIE DE CHAMPAGNE

9.3.1. Cadre général

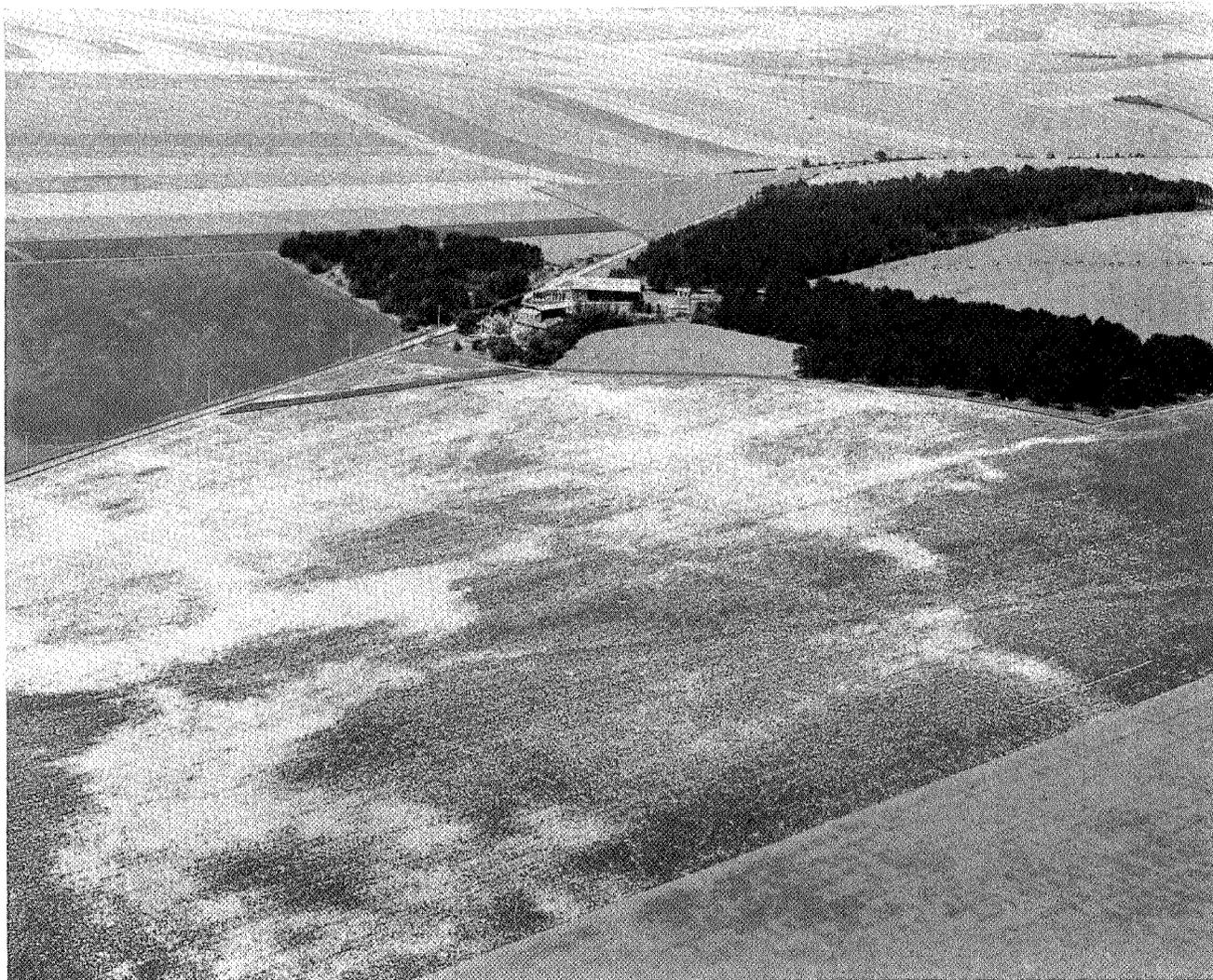
Sur la bordure est et nord-est du bassin de la Seine, entre Seine et Aisne, les formations de la Craie du Sénonais se poursuivent au Nord en Champagne pouilleuse (planche 4 et fig. 9.1 et 9.11). Au-delà s'étend la Picardie. Les formations du Crétacé supérieur se développent largement entre la Champagne humide et l'Argonne (dépressions humides de la formation argilo-sableuse de l'Albien) qui la limitent vers l'Est et les escarpements tertiaires de la côte de l'Île-de-France la dominant à l'Ouest. La faible épaisseur des formations superficielles (Argile à silex) se traduit par des plaines et des plateaux secs et arides. La plaine de Champagne est traversée par les larges vallées, avec d'importants dépôts d'alluvions de la Seine et de ses affluents de la rive droite, l'Ource, l'Aube, la Marne et l'Aisne.

9.3.2. Description sommaire du réservoir

La lithostratigraphie du Crétacé supérieur permet d'individualiser la formation de la Craie supérieure bien développée, englobant même localement les assises inférieures. Par contre, la formation de la Craie inférieure cénomaniennne n'apparaît plus (tableau 9.6 et fig. 9.3).

TABLEAU 9.6
Lithostratigraphie du Crétacé supérieur en Champagne (Est du bassin de la Seine)

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie	
350	Formation de Craie supérieure Craie blanche, compacte, fissurée karstique avec minces intercalations marneuses		SÉNONIEN	
			sup.	TURONIEN
			moyen	
150		Craie marneuse = Dièves Argile marneuse verte plastique Marnes blanches, marnes glauconieuses avec bancs de Craie.	inf.	
10	Gaize sableuse		CÉNOMANIEN	



(Photo A. Perceval)

Fig. 9.11. — La Champagne crayeuse

Défrichements relativement récents sur la craie du Turonien et du Sénonien. L'horizon superficiel a disparu par érosion, mais les couches supérieures de la Craie ont une capacité de rétention d'eau suffisante pour permettre la culture avec des engrais appropriés. Avant d'être livrée à la culture, la région avait été densément boisée en pins. Formation perméable à microfissures contenant une nappe d'eau avec surface piézométrique affleurant dans les thalwegs principaux.

Formation de la Craie supérieure turono-sénonienne. Puissante de plus de 350 m, fissurée, localement karstique, elle constitue un réservoir très important. Dans l'ensemble elle représente les étages du Turonien supérieur et du Sénonien, mais localement elle peut englober des séries inférieures. Craies du Turonien moyen et inférieur dans la région est du département de la Marne et même du Cénomani en dans l'Aube avec un réservoir unique crétacé supérieur (Cénomani-Turonien-Sénonien). La composition pétrographique de la Craie de Cham-

pagne est semblable à celle du Sénonais mais elle s'en différencie en général par l'absence de silex.

Les *formations semi-perméables* de base permettent la localisation de petits niveaux aquifères dans les minces bancs de Craie.

L'ensemble des assises de la Craie plonge doucement vers le centre du bassin de Paris. Dans le département des Ardennes, le pendage est dirigé vers le SW; dans la Marne vers l'Ouest et au Sud de l'Aube vers le NW.

9.3.3. Sources et régime des sources

L'aquifère supérieur donne naissance à des sources peu nombreuses, généralement localisées sur la périphérie des plateaux dans les vallées, où elles alimentent les cours d'eau. Le substratum de la Craie n'affleurant pas dans les thalwegs ces sources migrent en fonction des fluctuations piézométriques et peuvent tarir sans que les ressources soient épuisées. Leurs débits sont ainsi très variables, de 1 m³/s en crue et voisins de 0 à l'étiage. Au NE, à l'Est et au SE de la région, au contact de la Craie et du substratum, naissent des sources de déversement de débit plus régulier et à faible tarissement. Certaines d'entre elles sont captées pour des adductions d'eau communale.

La formation semi-perméable servant de substratum à la Craie supérieure, renferme des bancs de craie dont les principaux peuvent donner naissance à des sources à faible débit, une vingtaine dans la vallée de la Marne. Le débit élevé à régime constant de certaines d'entre elles ne peut se justifier qu'en admettant une alimentation par l'aquifère supérieur déjà mise en évidence par IMBEAUX en 1930.

9.3.4. Piézométrie

Morphologie de la surface piézométrique — Carte piézométrique

Au Sud de l'Aube il semble que la formation de Craie supérieure soit moins perméable que dans les régions situées plus au Nord. En effet les reliefs

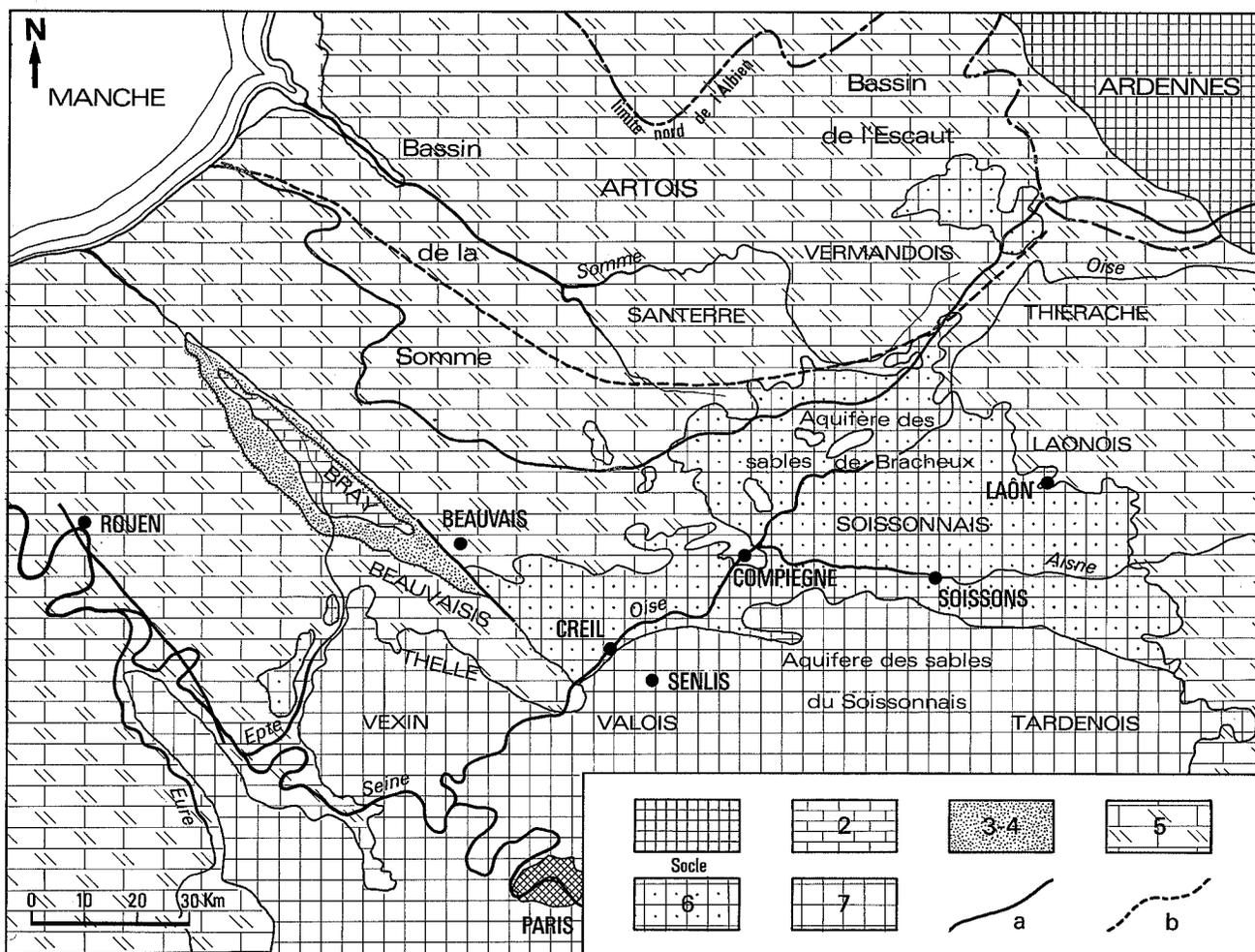


Fig. 9.12. — Carte schématique de la répartition des affleurements de Craie et des formations de l'Éocène inférieur dans le Nord-Ouest du bassin Seine-Normandie

- 2 : formation calcaire du Jurassique supérieur du Pays de Bray et de la région de Rouen; 3-4 : formations argilo-sableuses du Crétacé inférieur (Albien); 5 : formation de la Craie; 6 : formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux (Thanétien); 7 : formation argilo-sableuse des Sables du Soissonnais et des Sables de Cuise (Yprésien); a : limite nord du bassin Seine-Normandie; b : limite nord des Sables albiens.

déterminent des dômes piézométriques nettement plus marqués (Montgueux, Villadin, Pont-sur-Seine, Chapelle-Vallon). Toutefois l'absence de points d'observation sur les « Monts de Moronvillers » à l'Est de Reims ne permet pas d'affirmer que ces phénomènes ne se produisent pas au Nord. L'examen de la carte piézométrique entre les vallées principales (Seine, Marne et Aisne) et dans certaines vallées voisines, semble montrer que les crêtes piézométriques s'atténuent. Il pourrait donc exister des ébauches de captures souterraines au profit des bassins versants des rivières principales dont le drainage est d'autant plus intense que leurs vallées sont plus larges et situées à une cote plus basse. Ce phénomène est très net dans le bassin supérieur de la Vesle où en période d'étiage les eaux souterraines peuvent être drainées partiellement par la Marne, asséchant la Vesle sur une partie de son cours.

Fluctuations de la surface piézométrique

Les variations majeures de niveau piézométrique sont essentiellement saisonnières. Les courbes de fluctuations annuelles montrent un maximum en janvier-février et un minimum en septembre-octobre.

9.3.5. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines

Dans l'ensemble les eaux de la Craie de cette région ont une minéralisation faible qui augmente des plateaux vers les vallées et d'amont vers l'aval des bassins. Les résistivités de l'eau sont comprises entre 1 500 et 3 500 ohm.cm. Le degré hydrométrique est de 15 à 25 degrés français. Les teneurs en sulfates, sensiblement plus élevées à proximité de la cuesta tertiaire, sont dues à des infiltrations en provenance des terrains tertiaires superposés. Toutefois les pro-

duits sulfatés du traitement des vignobles peuvent provoquer une pollution artificielle.

De très nombreuses agglomérations ainsi que d'importants établissements industriels s'alimentent dans l'aquifère de la Craie. Les prélèvements s'élèvent en moyenne pour la région à 200 000 m³/j.

Notons que ces prélèvements très localisés, ponctuels au regard de l'ensemble de l'aquifère de la Craie, entraînent des déséquilibres graves et un risque d'assèchement de petites rivières comme la Vesle à l'amont de Reims.

9.4. AQUIFÈRE DE LA CRAIE DE PICARDIE-NORMANDIE

9.4.1. Cadre général

Le bassin de la Seine est limité vers le NW et l'Est par la vaste auréole de Crétacé supérieur de Picardie-Normandie, entourant la zone tertiaire de l'Île-de-France (planche 5 et fig. 9.12 et 9.13).

9.4.2. Description sommaire du réservoir

La lithostratigraphie du Crétacé supérieur permet d'identifier nettement la *formation de Craie supérieure* (Turonien supérieur-Sénonien) reposant sur le substratum complexe des assises du Turonien moyen et inférieur et du Cénomaniens. Puissante de 150 m, elle est généralement la seule roche-réservoir importante de toute la région (tableaux 9.7 et 9.8 et fig. 9.13 et 9.14).

TABLEAU 9.7

Lithostratigraphie du Crétacé supérieur de Picardie (Nord de la vallée de la Bresle)

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie	
150 à 200	<i>Formation de Craie supérieure</i> Craie blanche à silex		SÉNONIEN	
30		Craie marneuse Dièves	sup.	TURONIEN
			moyen	
			inf.	
50		Craie glauconieuse sans silex Gaize siliceuse	CÉNOMANIEN	

TABLEAU 9.8

Lithostratigraphie du Crétacé supérieur de Haute-Normandie

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie
150	<i>Formation de Craie supérieure</i>		SÉNONIEN
		Craie marneuse pauvre en silex avec bancs de Craie	TURONIEN
50		Craie glauconieuse sans silex	CÉNOMANIEN

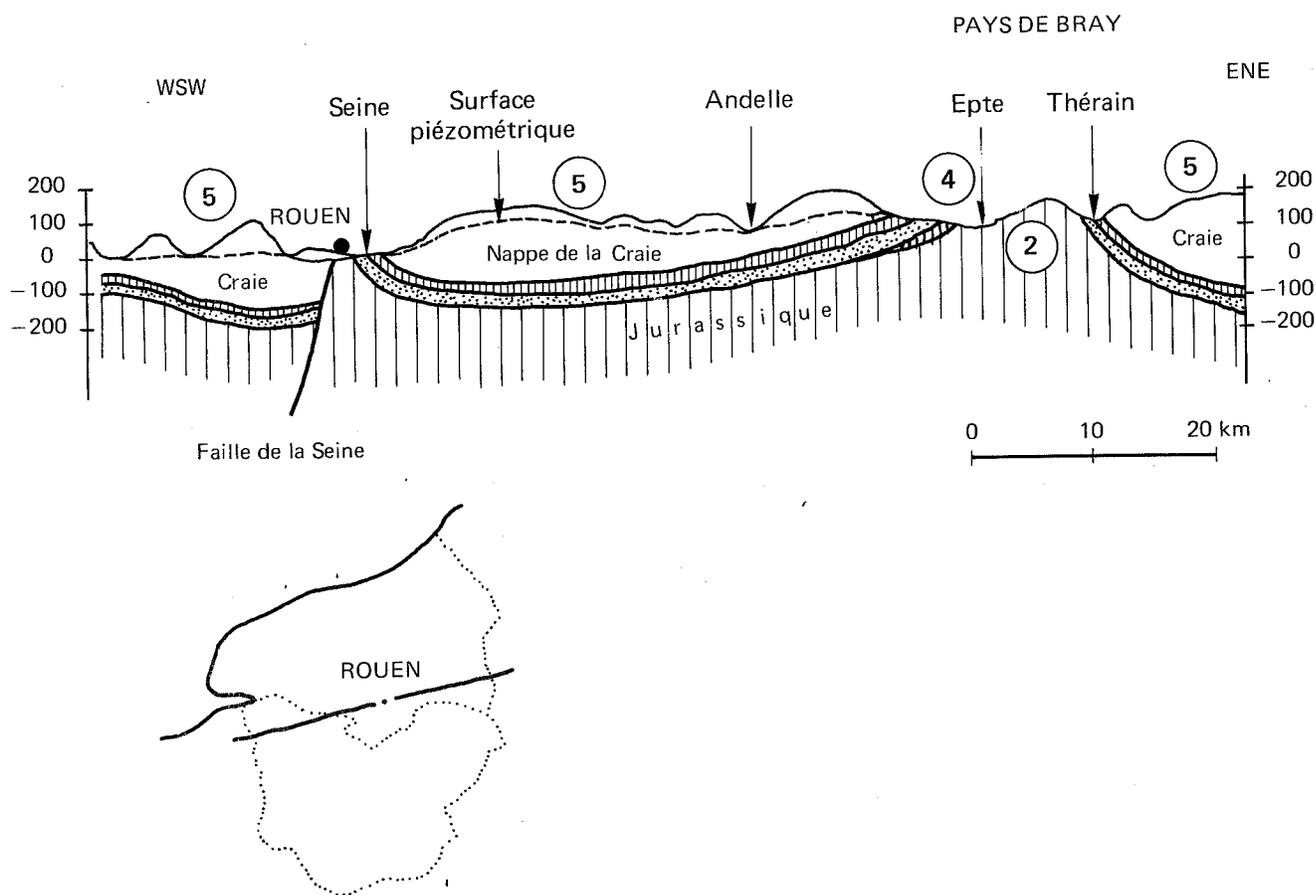


Fig. 9.13. — Succession des formations géologiques de la région de Rouen au Pays de Bray

2 : formation calcaire du Jurassique supérieur ; 4 : formation argilo-sableuse albienne ; 5 : formation de la Craie



(Photo A. Perceval)

Fig. 9.14. — La vallée de l'Oise à Champagne-sur-Oise

Carrière de pierre à ciment ouverte dans la Craie du Crétacé supérieur de Picardie-Normandie. Formation perméable à microfissures, nappe à surface piézométrique bien définie en communication avec la nappe alluviale avec laquelle elle forme un aquifère multicouche conférant à l'Oise un régime d'écoulement très régulier.

Formation semi-perméable du Cénomaniens-Turonien moyen

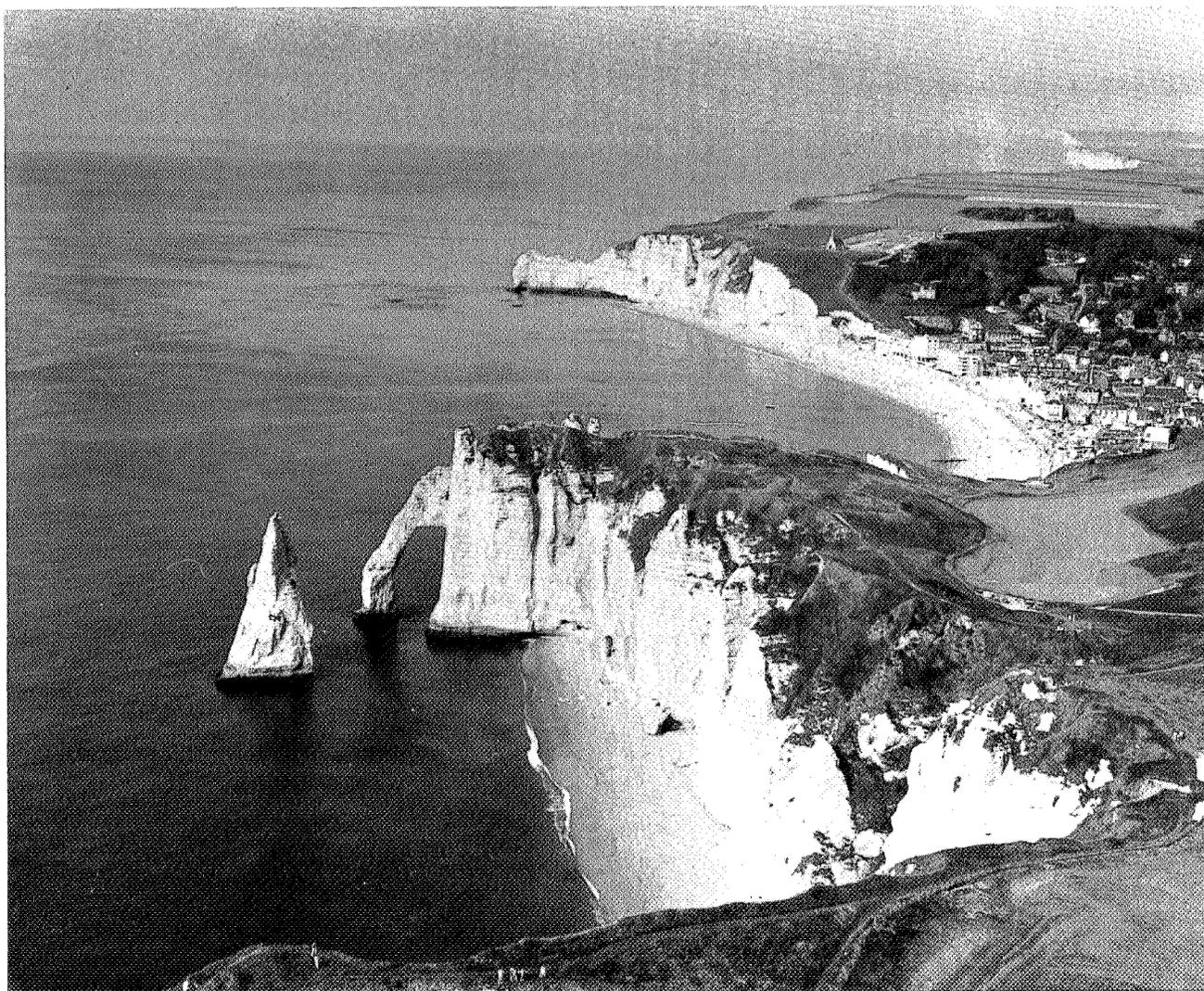
Elle comporte, de bas en haut, reposant sur les Argiles du Gault (Albien supérieur) :

- la *Gaize*, roche siliceuse, bien développée en Picardie dans la région de Vervins et jusqu'au Pays de Bray (Cénomaniens inférieur). Elle est par contre absente ou peu épaisse en Normandie;
- la *Craie marneuse*, glauconieuse, sans silex (Cénomaniens supérieur);
- les *marnes crayeuses* colorées ou *Dièves* sur 80 m (Turonien inférieur et moyen). On les

rencontre en Picardie, jusqu'à la vallée de la Bresle. Elles ne sont plus représentées en Pays de Bray et Normandie, où le Turonien est une Craie marneuse, pauvre en silex, avec bancs de Craie (tableau 9.7 et fig. 9.15).

9.4.3. Sources et régime des sources

Les sources de l'aquifère supérieur ont presque toutes un débit inférieur à 100 l/s en étiage. Des débits de l'ordre de 1 m³/s sont connus aux Fontaines d'Yport, à Radicatel, aux sources de la Rançon à Hondouville (près de Louviers). Ces maxima exceptionnels sont dus à des circulations karstiques.



(Photo A. Perceval)

Fig. 9.15. — La falaise normande à Étretat

La falaise recoupe toutes les formations de la Craie du Cénomanién au Sénonien. Formation perméable, surface du plateau du Pays de Caux avec vallées sèches et cultures sur limons ; la nappe d'eau de la Craie émerge tout le long de la base de la Falaise par une série de sources parfois abondantes, bien visibles sur la figure 9.16. Petite ville et plage d'Étretat, dans l'anse au milieu de la photo.

Les sources sont, dans la majeure partie de la région, des sources de dépression, c'est-à-dire provoquées par le recoupement de l'aquifère par la surface topographique. Elles donnent naissance aux rivières et les alimentent tout le long de leur cours par d'innombrables griffons. A l'amont des sources pérennes, les émergences se déplacent en fonction des variations du niveau piézométrique. Ainsi en 1966, année humide, les cours d'eau naissaient fréquemment à 5 km à l'amont de leur source habituelle.

Des sources de débordement existent également. En Picardie, dans la région de Clermont-Compiègne, lorsque la Craie plonge sous les formations tertiaires la perméabilité devient très faible et les eaux souterraines ne pouvant plus s'écouler, émergent

au pied de la cuesta en sources artésiennes (vallée de la Brèche, Marais de Sacy).

Enfin des sources d'affleurements existent dans les régions où le substratum géologique recoupe la topographie. Le plus bel exemple est donné par les sources au contact des Dièves dans les hautes vallées de l'Oise et de la Serre, la Thiérache et les régions de Guise et de Vervins. Nous signalerons également les émergences au contact des Argiles du Gault dans la boutonnière du Pays de Bray et la région de Honfleur.

Signalons encore les nombreuses sources littorales au pied des falaises entre les embouchures de la Somme et de la Seine et dont les plus importantes sont les Fontaines d'Yport (fig. 9.16).

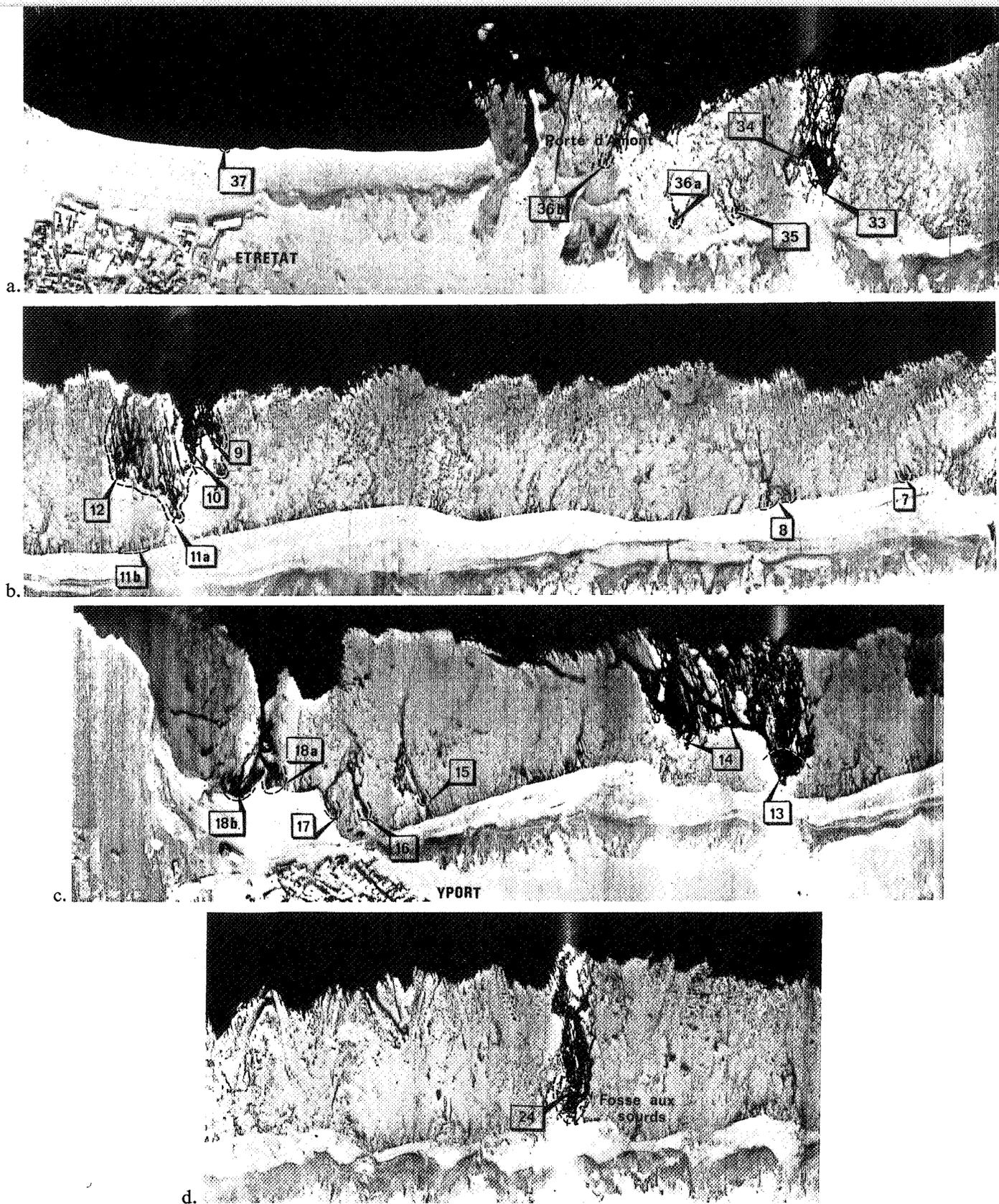


Fig. 9.16. — Vues verticales le long de la falaise de Normandie. Photos prises en infra-rouge (Photo IGN)

Les sources qui émergent au bas des falaises apparaissent en noir (comme la mer), en contraste avec la teinte blanche de la plage sur laquelle elles s'écoulent. Ces sources sont les exutoires de la nappe de la Craie du Pays de Caux (Crétacé supérieur).

Photo a : Groupe de sources à 1 km au NE d'Étretat. Le groupe de sources a un débit de l'ordre de 200 l/s. A gauche, le village d'Étretat.

Photos b et c : Groupe de sources près d'Yport, numérotées de 9 à 18, de débit total de l'ordre de 2 000 l/s.

Photo d : Grosse source de la Fosse aux sourds, à environ 2 500 m à l'ouest d'Yport. Débit de l'ordre de 1 000 l/s.

EAUX SOUTERRAINES

9.4.4. Piézométrie

Morphologie de la surface piézométrique — Cartes piézométriques

Les bassins hydrogéologiques correspondent aux bassins hydrographiques. Les captures souterraines entre ces bassins sont exceptionnelles, la plus importante étant celle de la moitié du bassin d'Étretat par celui d'Yport.

Fluctuations de la surface piézométrique

Les réseaux piézométriques mis en place depuis 1964 en Picardie et 1967 en Haute-Normandie ont déjà apporté de nombreuses données pour la connaissance des fluctuations des niveaux piézométriques. L'alimentation étant fonction des précipitations d'automne et d'hiver les niveaux maxima sont atteints entre février et juin, le plus fréquemment en avril. Ils décroissent jusqu'à l'étiage se situant généralement entre le 1^{er} novembre et le 15 décembre. En 1971, l'alimentation de l'automne-hiver 1970-1971 ayant été insuffisante il n'y a pas eu de remontée de la nappe au printemps, le tarissement se prolonge depuis plus de deux ans entraînant l'assèchement de nombreuses sources et un étiage sévère dans les cours d'eau.

9.4.5. Captages

Dans les vallées les sondages produisent des débits de 100 à 300 m³/h avec des rabattements inférieurs à 10 m. Dans la vallée de la Seine certains ouvrages donnent des débits compris entre 500 et 1 000 m³/h.

En plateaux les productions sont médiocres, de l'ordre de 10 m³/h avec des rabattements importants. Les acidifications améliorent les débits.

9.4.6. Prélèvements

L'aquifère de la Craie est utilisé dans la région pour les besoins industriels, agricoles et domestiques.

L'exploitation est effectuée surtout par des sondages dont la profondeur varie de 25 à 100 m. Dans les hauts bassins de l'Oise et de la Serre les prélèvements sont effectués par captages des sources, de même en Seine-Maritime.

Les prélèvements industriels atteignent 80 % de la consommation totale, 300 000 m³/j pour la seule région de Rouen.

9.4.7. Bilan

Les réserves d'eaux souterraines de la Craie exercent une influence capitale sur le régime des cours d'eau dont le bassin s'étend sur cette formation. Elle se manifeste par une *régularisation des débits* aux échelles journalière, mensuelle, annuelle, inter-annuelle.

Une abondante discussion de ces phénomènes est donnée dans le fascicule des EAUX SUPERFICIELLES et celui des CONCLUSIONS auxquels on pourra se reporter pour plus ample information.

Dans le bassin crayeux, on peut distinguer une fraction de l'écoulement qui parvient aux rivières en s'écoulant sur le sol ou latéralement dans les couches supérieures du sol, et une fraction qui est infiltrée vers la nappe souterraine et restituée au cours d'eau par les émergences. La deuxième fraction est prépondérante et dans les bassins entièrement crayeux, elle représente plus de 95 % de l'écoulement total. Le bilan des eaux souterraines se confond alors pratiquement avec le bilan hydrologique global.

On se bornera à donner quatre exemples de bilans moyens pour la période 1963-1967. Le tableau 9.9 donne les hauteurs de pluie annuelle moyenne, le déficit d'écoulement D, c'est-à-dire la différence entre hauteur de pluie et écoulement total, l'écoulement total est la proportion R en pourcentage de la fraction de l'écoulement superficiel dans l'écoulement total.

TABLEAU 9.9

Bilans hydrologiques de quatre bassins versants de Picardie-Normandie
Moyennes sur la période 1963-1967

Bassin versant	Précipitations (mm)	Écoulement total (mm)	D (mm)	R % de l'écoulement total
Oise à Origny-Sainte-Benoîte . . .	891	351	540	26
Serre	775	254	521	7
Thérain	773	233	540	16
Epte	815	206	609	14

9.4.8. Qualités physiques et chimiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont du type *carbonaté calcique*. Le degré hydrotimétrique est compris entre 25 et 40 degrés français. La résistivité de l'eau varie de 1 500 à 2 500 ohm.cm. Le pH est légèrement basique, de 7 à 7,5.

Les teneurs en sulfates, chlorures, nitrates sont généralement comprises entre 15 et 30 mg/l. Des teneurs plus élevées en sulfates, de 100 à 200 mg/l, sont notées sous recouvrement ou en limite du Tertiaire.

Dans certains secteurs les eaux souterraines sont polluées par les rejets industriels. C'est le cas de Rouen où les teneurs en sulfates et en chlorures peuvent atteindre 700 mg/l et 150 mg/l de nitrates. Dans la vallée de la Basse-Seine, à l'aval de Lillebonne la surexploitation entraîne une salure des eaux souterraines par appel des eaux saumâtres de l'estuaire.

9.5. AQUIFÈRE DE LA CRAIE DE L'ILE-DE-FRANCE

La formation de la Craie supérieure sénonienne constitue le soubassement des formations tertiaires de l'Ile-de-France. Au centre à une profondeur de 150 à 250 m apparaît une grande dépression délimitée par la courbe d'égale altitude + 50 m passant par Melun, Corbeil, Longjumeau, Saint-Maur, Argenteuil, Montmorency, Gonesse, Meaux, Coulommiers, Fontenay-Trésigny. Les zones les plus profondes correspondent à la fosse de Pontault-Combault (altitude — 100 m) et de Brie-Comte-Robert (alti-

tude — 50 m). Trois diverticules divergent de ces cuvettes, au SW avec la fosse de Longjumeau (altitude — 70 m), au NW avec la dépression de Saint-Denis (altitude — 120 m) et au Nord avec la cuvette de Meaux (altitude — 60 m). Dans le secteur est apparaît le dôme de Coulommiers (altitude — 60 m). Au Sud commence la grande cuvette de la Beauce.

Le toit de la Craie se relève tout autour avec, au Sud, le monoclinel briard de la Ferté-Gaucher à Fontainebleau et à l'Ouest une série d'anticlinaux sensiblement N.NW-S.SE à EW, dont les principaux sont, du Nord au Sud : le Pays de Bray, Vigny, Beynes-Meudon et la Remarde.

La formation de la Craie apparaît rarement en surface et dans des zones bien délimitées correspondant aux rides anticlinales entaillées par l'érosion : terminaison orientale du Pays de Bray, Vigny, Beynes-Meudon (vallée de la Mauldre) et Roumois. Dans ces secteurs la Craie est fissurée et même karstique. Les forages de Moisson, d'Issy-les-Moulineaux, de Boulogne et de Montigny-le-Guesdier ont recoupé des diaclases ouvertes. Sur la bordure est le barrage de Cannes-Écluse a disparu en une nuit par effondrement de cavités karstiques dans les fondations de Craie.

Par contre dans toutes les zones de recouvrement tertiaire, la formation de la Craie est rarement aquifère. En règle générale la fissuration y est fermée ou oblitérée. Toutefois dans certaines conditions favorables, en particulier dans les zones de fracturation, des exploitations sont possibles.

Nous signalerons la *station d'alimentation artificielle* de Croissy dans la vallée de la Seine à l'aval de Paris où la nappe est alimentée par de l'eau de la Seine, traitée.

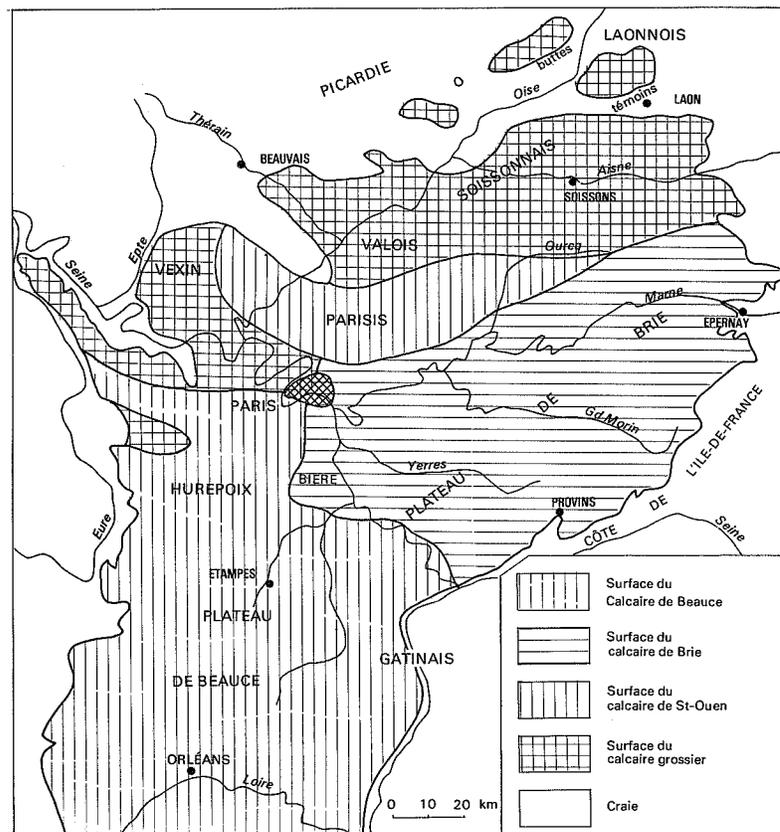
GÉNÉRALITÉS SUR LES AQUIFÈRES MULTICOUCHES DU TERTIAIRE

10.1. CADRE GÉNÉRAL

Les formations du Tertiaire, localisées au centre du bassin de Paris, territoire correspondant approximativement à l'Île-de-France, constituent un ensemble géologique cohérent. Elles sont limitées sur toute leur périphérie (sauf au Sud) et en profondeur, par la Craie (planche 6 et fig. 10.1 et 10.3). Se prolongeant au NE par le Soissonnais-Laonnois et au Sud par la Beauce, les dépôts tertiaires couvrent

ainsi environ 21 500 km². Ils se poursuivent plus au Sud en Sologne, la limite de partage des eaux avec le bassin de la Loire étant représentée par une crête des eaux souterraines à 10-15 km au Nord de ce fleuve.

La localisation verticale et géographique des aquifères est subordonnée à une lithostratigraphie et à une géologie structurale complexes (fig. 10.2, 10.3 et tableau 10.1).



D'après Pomerol et Feugueur, 1968.

Fig. 10.1. — Carte géomorphologique schématique de la région parisienne. Unités géomorphologiques et succession des plates-formes structurales calcaires emboîtées du Nord au Sud.

TABLEAU 10.1

Lithostratigraphie et grandes formations aquifères du Tertiaire du bassin de Paris

Systèmes	Étages	Sous-étages	Lithostratigraphie	Aquifère	Épaisseur moyenne (mètres)	Numéro de la formation	Chapitre de l'étude	
OLIGOCÈNE	AQUITANIEN		Formation complexe calcaire karstique du Calcaire de Beauce	Aquifère multicouche du Calcaire de Beauce, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie	30-175	9	13	
			Calcaire de Pithiviers <i>Molasse du Gâtinais</i>					
		STAMPIEN	Calcaire d'Étampes Formation des Sables de Fontainebleau <i>Molasse d'Étrechy ou Marnes à huîtres</i>					
ÉOCÈNE	BARTONIEN	STAMPIEN	Formation calcaire karstique du Calcaire de Brie					
		SANNOISIEN	<i>Marnes vertes de Romainville</i> <i>Marnes supragypseuses</i>		1-26			
		LUDIEN	Formation calcaire karstique du Calcaire de Champigny <i>Marnes infragypseuses</i>	Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny	40-80	8	12	
	MARINÉSIEN	Sables de Monceau Formation calcaire karstique du Calcaire de Saint-Ouen						
	MOYEN	YPRÉSIEN	AUVERSIEN	<i>Sables de Beauchamp</i>		1-30		
			LUTÉTIEN	Formation calcaire karstique du Calcaire grossier Marnes et Caillasses Calcaire grossier	Aquifère multicouche du Calcaire grossier, des Sables du Soissonnais et des Sables de Bracheux (et sommet de la Craie)	30-180	7	11
CUISIEN			Sables de Cuise					
SPARNACIEN	Sables du Soissonnais Fausses Glaises Sables d'Auteuil Argiles à lentilles sableuses <i>Argiles à lignite et argile plastique</i>							
PALÉO-CÈNE	YPRÉSIEN	THANÉTIEN	Formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux		0-30	6		
		DANO-MONTIEN	Sommet de la Craie					

10.2. PRINCIPAUX
AQUIFÈRES MULTICOUCHES

Le *substratum général* des formations tertiaires est constitué par la surface supérieure de la Craie, *surface d'érosion* anté-éocène dont la structure

a déterminé la sédimentation et la répartition des dépôts qui la recouvrent, ainsi que leur épaisseur, donc la localisation des aquifères. Dans le Soissonnais, les Sables de Bracheux reposant directement, en transgression sur la Craie, constituent avec celle-ci un réservoir unique (tableau 10.1 et fig. 10.2).

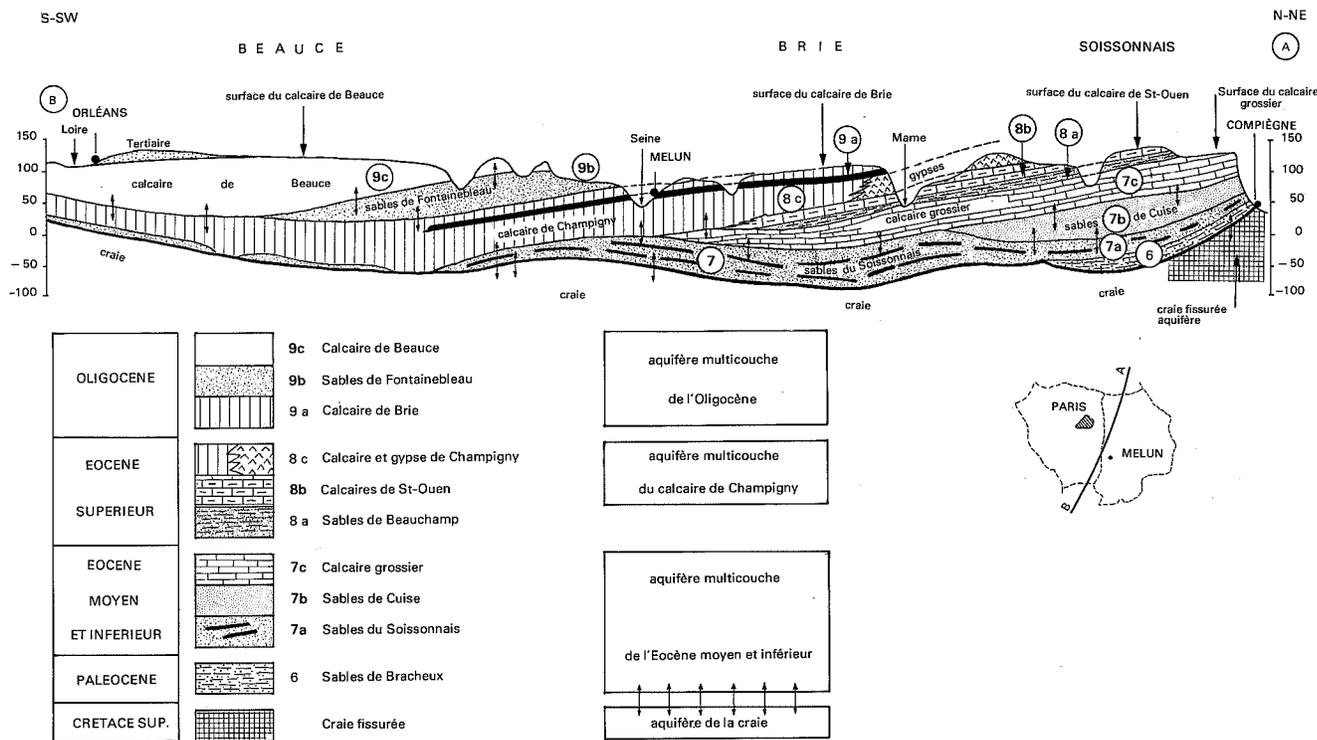


Fig. 10.2. — Succession N.NE-S.SW, des formations géologiques et des plates-formes structurales de la région parisienne, de l'Oise (Compiègne) vers la Loire (Orléans). Principaux aquifères multicouches

Noter l'inclinaison des assises vers le Sud, provoquant l'affleurement successif des formations de plus en plus récentes, de l'Éocène inférieur de la vallée de l'Oise, à l'Oligocène du plateau de Beauce. La comparaison avec la carte figure 10.1 confirme l'emboîtement des plates-formes structurales calcaires du Nord vers le Sud.

TABLEAU 10.2

Grandes formations, grands aquifères multicouches et zones hydrogéologiques du Tertiaire du bassin de Paris

Formations calcaires Ossature géomorphologique	Zones géomorphologiques	Aquifère principal exploité	Zone hydrogéologique ou zone de ressources en eaux souterraines
Calcaire de Beauce	Plateau de la Beauce	Aquifère multicouche du Calcaire de Beauce et des Sables de Fontainebleau et des Calcaires lacustres inférieurs	Beauce Hurepoix
Calcaire de Brie Calcaire de Champigny	Plateau de la Brie	Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny	Brie Bière
Calcaire de Saint-Ouen Calcaire grossier	Paris Vexin-Valois Soissonnais Laonnois (buttes témoins)	Aquifère multicouche du Calcaire grossier, des Sables du Soissonnais et des Sables de Bracheux	Vexin-Valois Soissonnais Paris Laonnois

GÉNÉRALITÉS SUR LES AQUIFÈRES

L'étude lithostratigraphique du Tertiaire de la région parisienne permet d'individualiser *huit formations aquifères multicouches* avec intercalations de formations semi-perméables (tableau 10.1). Les communications entre aquifères, fréquentes et importantes, ainsi que les possibilités actuelles d'exploitation des eaux souterraines, conduisent à un regroupement permettant de distinguer *trois grandes formations* correspondant à *trois grands aquifères multicouches*. Ce sont de bas en haut, *trois zones hydrogéologiques* réparties successivement du Nord au Sud par suite de l'inclinaison des assises.

— *l'aquifère multicouche des Sables de Bracheux (et du sommet de la Craie), des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier*. Cet aquifère est encore appelé « nappe du Soissonnais » ou encore « nappe de l'Éocène inférieur et moyen »;

— *l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny* ou « nappe de l'Éocène supérieur »;

— *l'aquifère multicouche du Calcaire de Brie, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce* ou « nappe de l'Oligocène ».

10.3. EXTENSION GÉOGRAPHIQUE DES AQUIFÈRES. GRANDES ZONES HYDROGÉOLOGIQUES

Dans la série tertiaire de l'Île-de-France, cinq formations calcaires ont été reconnues avec de bas en haut (tableaux 10.1; 10.2 et fig. 10.3) : le Calcaire grossier, le Calcaire de Saint-Ouen, le Calcaire de Champigny, le Calcaire de Brie et le Calcaire de Beauce. Le Calcaire de Champigny et le Calcaire de Brie forment une armature structurale unique. Par suite de l'abaissement général des couches vers le centre, quatre grandes formations donnent naissance à quatre grandes plates-formes structurales emboîtées

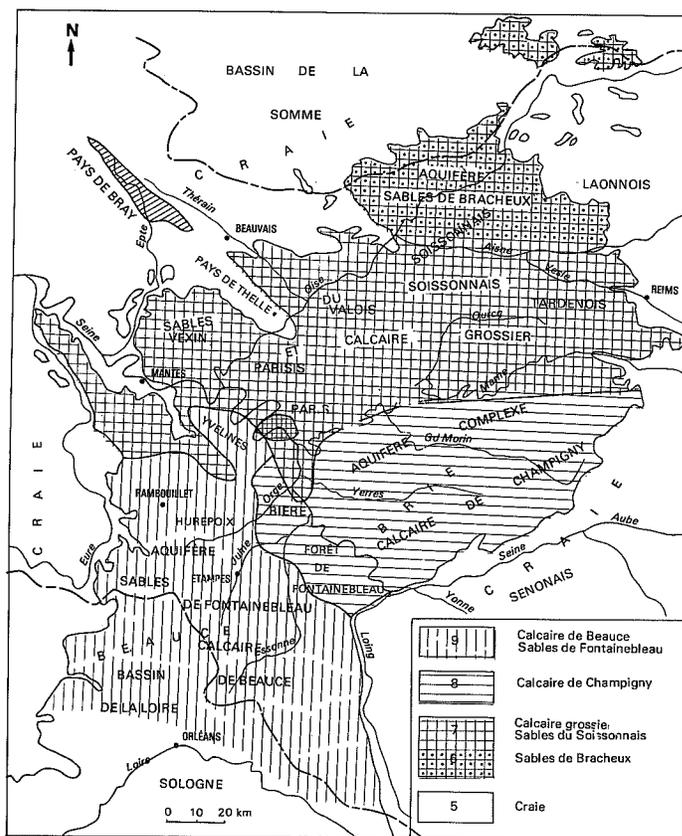


Fig. 10.3. — Carte schématique des grandes zones hydrogéologiques et des principaux aquifères multicouches du Tertiaire de la région parisienne

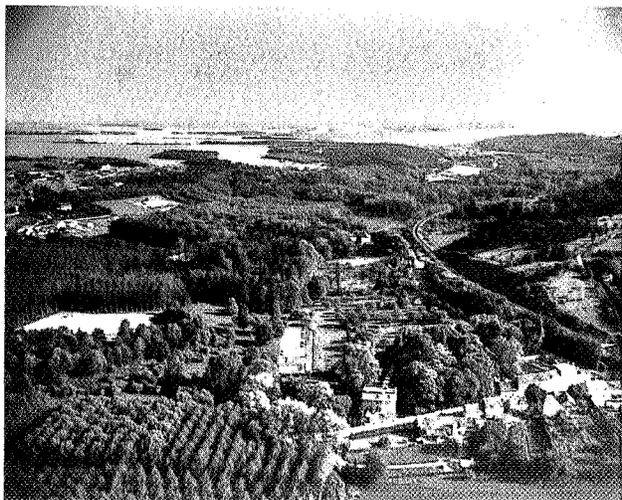
- 5 : aquifère de la Craie; 6 : aquifère multicouche des Sables de Bracheux et des Sables du Soissonnais; 7 : aquifère karstique du Calcaire grossier; 8 : aquifère multicouche du Calcaire de Champigny; 9 : aquifère multicouche du Calcaire de Brie, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce.

EAUX SOUTERRAINES

avec des corniches plus ou moins escarpées à regard vers la Craie (POMEROL, 1967). Ces unités géomorphologiques sont successivement du N.NE au S.SW ou d'Ouest en Est (fig. 10.2 et 10.3) :

- *la plateforme structurale du Calcaire grossier*, ossature du Vexin français, du Valois et chapeau des buttes témoins du Laonnois;
- *la plateforme structurale du Calcaire de Saint-Ouen* avec le Parisien, entre Marne et Oise;
- *le plateau de la Brie*, formé par le Calcaire de Brie entre Marne et Seine;
- *le plateau de la Beauce*, surface structurale du Calcaire de Beauce (fig. 10.4).

Du point de vue hydrogéologique, les deux premières unités géomorphologiques étant groupées en une seule, les conditions régionales d'exploita-



(Photo A. Perceval)

Fig. 10.4. — *Le rebord du plateau de Beauce*

Vue vers le Sud depuis Étampes. — Au premier plan, la vallée de Juine, dans les Sables de Fontainebleau. Végétation forestière et prairies. Le chemin de fer de Paris à Orléans, en quittant la gare d'Étampes, escalade le rebord du plateau de Beauce par une rampe (rampe de Guillerval), de l'ordre de 1 %. Au deuxième plan, sommet des calcaires de Beauce, cultures de céréales sur limons des plateaux.



(Photo A. Perceval)

Fig. 10.5. — *La forêt de Fontainebleau*

Grès à grains fins faisant partie de la formation des Sables de Fontainebleau, sous la forêt du même nom

tion des ressources en eaux souterraines permettent de distinguer en Ile-de-France, *trois grandes zones hydrogéologiques*.

Chacune d'entre elles est caractérisée principalement par un des trois aquifères multicouches individualisés antérieurement (tableau 10.2).

Les aquifères peuvent être exploités dans d'autres régions, mais à titre accessoire. Ce sont du Nord au Sud et en montant dans l'ordre lithostratigraphique (tableau 10.2 et fig. 10.1, 10.2 et 10.3) :

- la zone hydrogéologique du Vexin-Parisien-Valois-Soissonnais-Laonnois au Nord, domaine de *l'aquifère multicouche des Sables de Bracheux*, des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier. Elle est limitée au Sud par la Marne et la Seine, de Paris à Mantes;
- la zone hydrogéologique de la Brie, entre Marne et Seine, au Sud et SE avec *l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny*;
- les zones hydrogéologiques de la Beauce-Hurepoix au Sud et au SW de la Seine, domaine de *l'aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce*.

AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR ET MOYEN : SABLES DE BRACHEUX, SABLES DU SOISSONNAIS ET CALCAIRE GROSSIER

Zone hydrogéologique du Vexin-Parisis-Valois-Soissonnais-Laonnois

11.1. CADRE GÉNÉRAL

Dans la région qui s'étend au Nord de la Seine et de la Marne couvrant, du S.SW au N.NE, le Vexin, le pays de Thelle, le Valois, le Parisis, le Soissonnais

et le Laonnois, la formation aquifère multicouche exploitée, située à faible profondeur, appartient à l'Éocène inférieur et moyen (fig. 10.2, 10.3 et 11.1). Plus au Sud (Sud de la vallée de la Seine et de la Marne) elle s'ennoie progressivement sous les

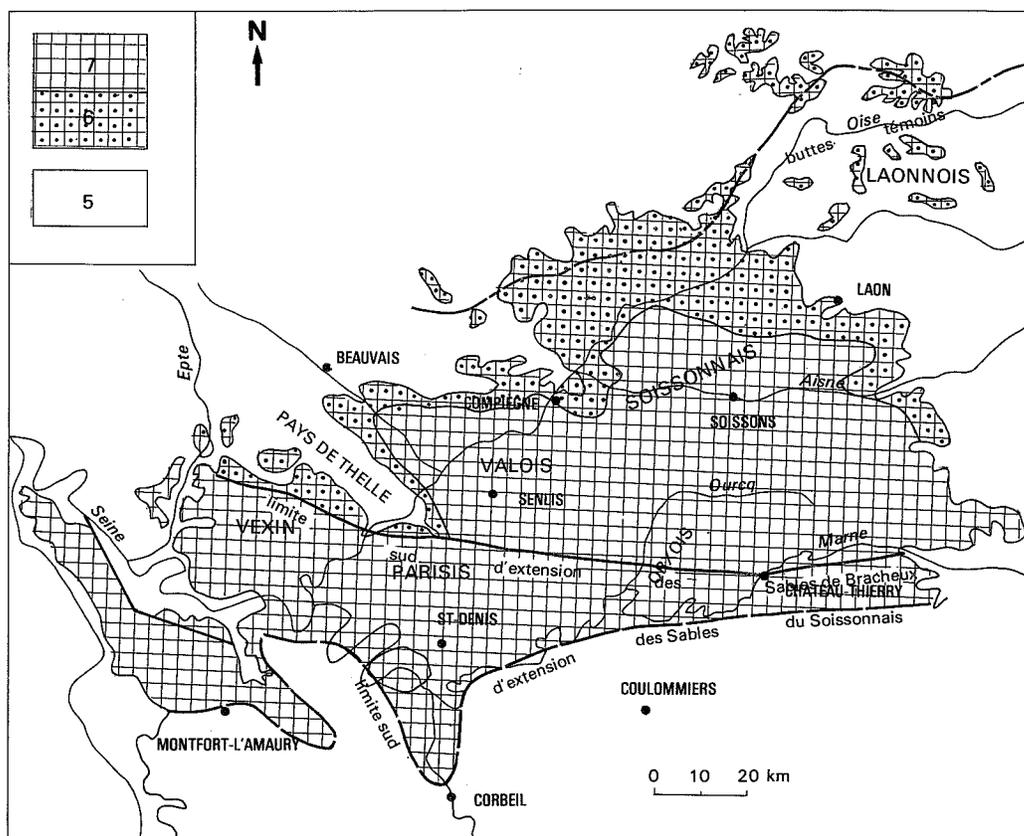


Fig. 11.1. — Carte schématique de la répartition des formations et des aquifères de l'Éocène inférieur et moyen, dans le Nord de la région parisienne

5 : aquifère de la Craie; 6 : formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux (Thanétien); 7 : formation argilo-sableuse des Sables du Soissonnais et des Sables de Cuise (Yprésien) et du Calcaire grossier (Lutétien).

EAUX SOUTERRAINES

assises semi-perméables des Sables de Beauchamp de l'Éocène supérieur (fig. 10.2 et 11.2). Dans le secteur nord les niveaux de l'Éocène inférieur et moyen constituent des buttes-témoins, leur chapeau de Calcaire grossier les ayant protégées contre l'érosion (fig. 11.2).

Les eaux souterraines, captées depuis plus d'un siècle, sont actuellement surexploitées, surtout dans les zones de Paris et de Saint-Denis.

L'aquifère multicouche des Sables de Bracheux, des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier

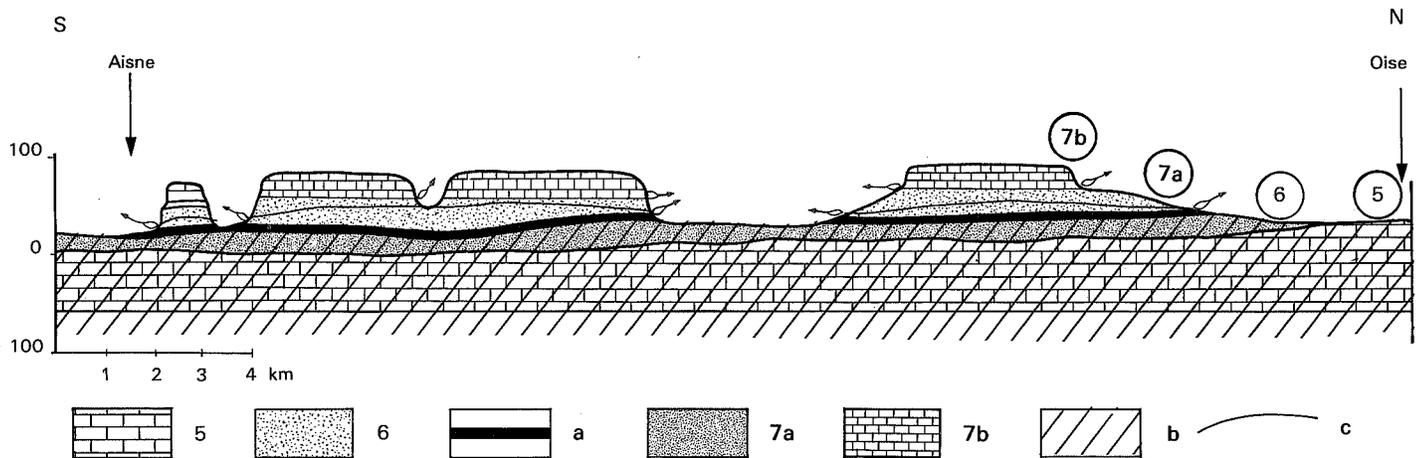


Fig. 11.2. — Succession des formations géologiques et aquifères dans le Laonnois

5 : formation de la Craie ; 6 : formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux (Thanétien) ; a : formation semi-perméable des argiles plastiques du Sparnacien ; 7a : formation moyenne argilo-sableuse des Sables du Soissonnais et des Sables de Cuise (Yprésien) ; 7b : formation calcaire karstique du Calcaire grossier (Lutétien) ; b : aquifère complexe Craie-Sables de Bracheux ; c : surface piézométrique de l'aquifère.

TABLEAU 11.1

Lithostratigraphie de l'Éocène inférieur et moyen du Vexin-Paris-Valois-Soissonnais-Laonnois

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie	
20-60	Formation calcaire karstique du Calcaire grossier Marnes et Caillasses Calcaires massifs blancs Calcaires sableux		LUTÉTIEN	
0-50	Sables de Cuise		CUISIEN	YPRÉSIEN
20-80	Sables du Soissonnais Fausses glaises Sables d'Auteuil Argiles à lentilles sableuses		SPARNACIEN	
5-20		Argiles à lignites Argiles plastiques		
0-30	Formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux Calcaires ou marnes Sables Argiles ou tuffeau Sommet de la Craie		THANÉTIEN	

est nettement individualisé et présente un intérêt pour l'exploitation des eaux souterraines au Nord d'une ligne Ouest-Est, Montfort-l'Amaury, Jouy, Pontault-Coulommiers, avec un golfe au Sud de Paris vers Montlhéry-Corbeil (fig. 11.1).

11.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

L'étude de la lithostratigraphie de l'Éocène inférieur et moyen permet d'identifier *trois formations aquifères* séparées par des intercalations semi-perméables (tableau 11.1).

— *formation argilo-sableuse des Sables de Bracheux (Thanétien)* à la base, localisée au Nord de l'Ile-de-France, dans le Soissonnais et le Laonnois et limitée au Sud par une ligne Senlis—Château-Thierry (fig. 10.2 et 11.1). C'est une formation complexe d'argiles sableuses, de calcaires lacustres, dont le niveau principal, les Sables de Bracheux au milieu de la série, s'épaissit du Nord au Sud, de quelques mètres dans le Laonnois, à 30 m. Ce sont des sables quartzeux, glauconieux, verts, assez fins (médiane

granulométrique : 0,16 mm) ou très fins (médiane : 0,11 mm), bien classés avec une grande proportion de minéraux métamorphiques (fig. 11.3). Dans la

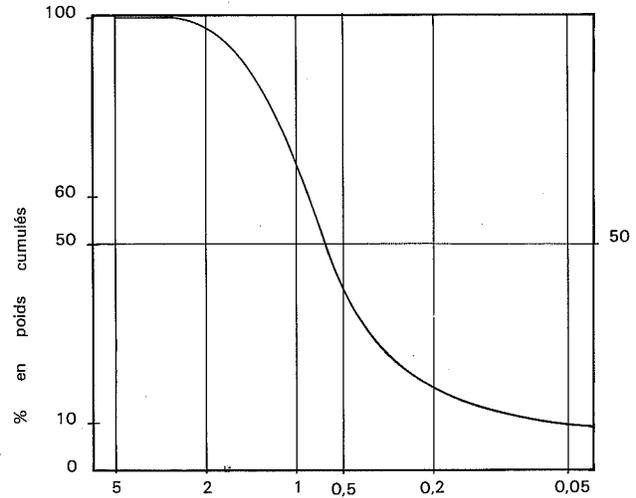


Fig. 11.3. — Courbe granulométrique des Sables du Soissonnais

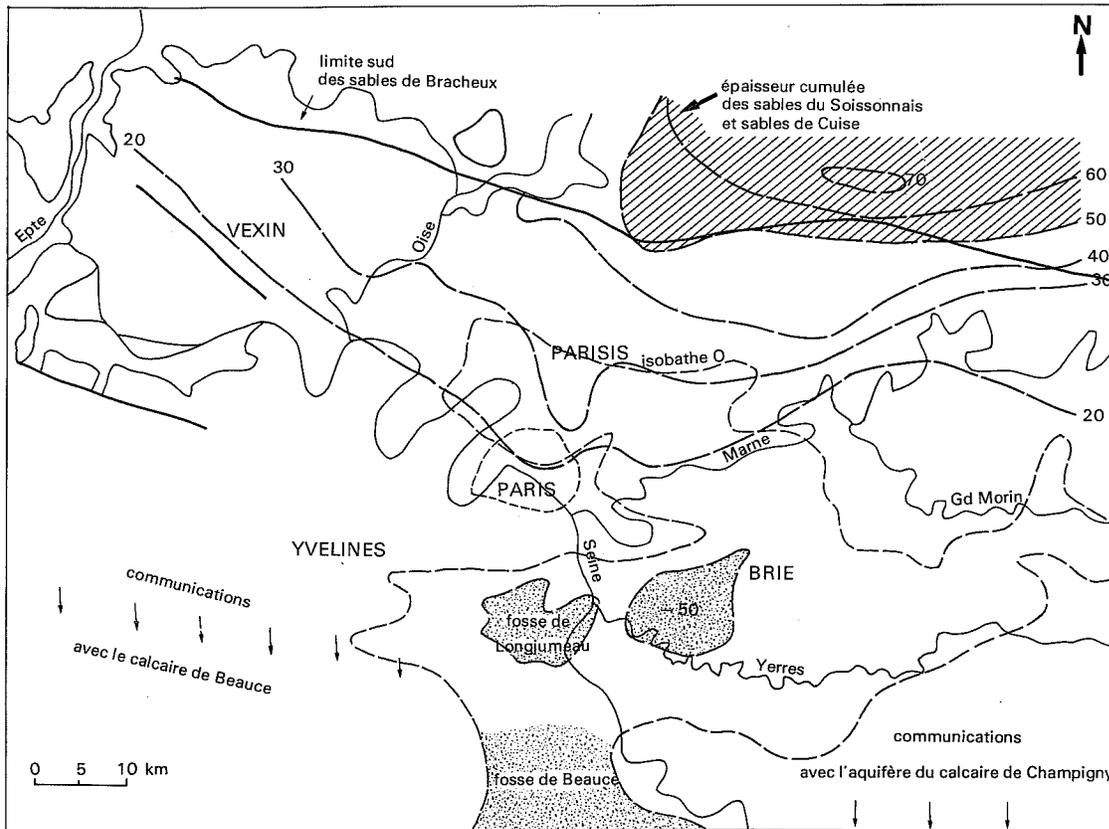


Fig. 11.4. — Aquifère multicouche des Sables de Bracheux et des Sables du Soissonnais. Caractéristiques dimensionnelles du réservoir : limites, puissance cumulée des sables, communications

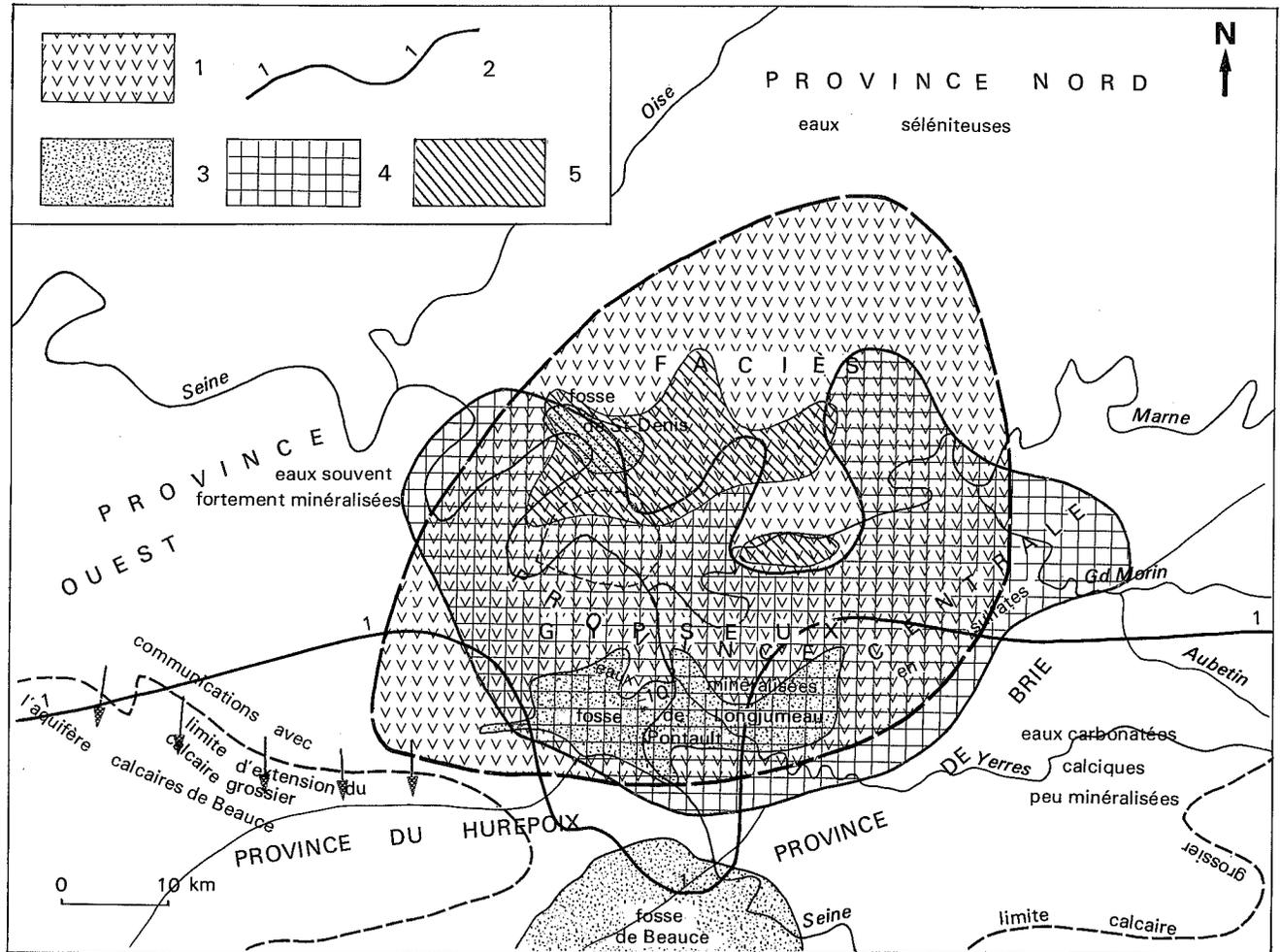


Fig. 11.5. — Formation du Calcaire grossier. Lithostratigraphie et structure de la roche-réservoir. Relations avec la composition chimique des eaux souterraines. Provinces hydrogéochimiques

1 : faciès gypseux du Calcaire grossier; 2 : limite au Nord de laquelle l'aquifère de l'Éocène inférieur et moyen est nettement individualisé; 3 : fosses; 4 : province hydrogéochimique centrale avec eaux minéralisées en sulfates (faciès gypseux du Calcaire grossier); 5 : zones où l'aquifère est important.

région qui s'étend au Nord de l'Aisne, dans le Laonnois, les Sables de Bracheux, reposant directement sur la Craie, constituent la base des buttes-témoins couronnées du Calcaire grossier (Lutétien). Ici, la Craie et l'Éocène inférieur constituent un réservoir unique (fig. 10.1 et 11.2);

— **formation semi-perméable des Argiles plastiques du Sparnacien.** Elle renferme des lignites avec lentilles sableuses, riches en kaolinite. Cette formation, épaisse de 10 à 20 m dans le Soissonnais, se réduit à 4 à 5 m au Sud de l'Aisne;

— **formation moyenne argilo-sableuse des Sables du Soissonnais et des Sables de Cuisse** où les corrélations ont permis de distinguer des subdivisions pratiques pour l'étude des eaux souterraines;

- **le complexe argilo-sableux du Sparnacien,** à la base, formé dans le Soissonnais, d'argiles avec intercalations de sables (Sables d'Auteuil). Le sommet est marqué par une alternance d'argiles brunes et noires, de lignites et de sables (Fausses Glaises);

- **les Sables du Soissonnais,** gris, souvent grossiers et anguleux (Sables gros sel), avec passées d'argiles sableuses et quelques intercalations de lignites et d'argiles noires;

- **les Sables supérieurs** avec le niveau principal des **Sables de Cuisse** (Cuisien). Les sables noirs glauconieux, parfois riches en mica, très fins et bien classés (médiane : 0,09 à 0,12 mm) à la base deviennent rapidement plus grossiers (médiane 0,20 mm), très mal classés dans la partie moyenne, puis plus fins

(médiane : 0,16 à 0,10 mm) et mieux classés au sommet (fig. 11.3).

L'épaisseur cumulée des sables de l'ensemble de la formation, maximale au Nord dans le Soissonnais (70 m), décroît progressivement vers le Sud (fig. 11.4);

— la formation calcaire karstique du Calcaire grossier (Lutétien). Le sommet du réservoir est constitué de petits bancs de calcaires plus ou moins siliceux, séparés par des lits marneux. Les calcaires, compacts au milieu, deviennent de plus en plus sableux vers la base. Dans le secteur central de la région parisienne la formation contient des niveaux gypseux (fig. 11.5).

La formation du Calcaire grossier est bien développée au Nord de la Seine avec une puissance

moyenne de 30 à 50 m, et quelques maxima de 60 m en Brie, en Parisis (fosse de Saint-Denis) et en Vexin. L'épaisseur diminue au Sud sans être toutefois inférieure à 20 m. Sa limite d'extension vers l'Est se superpose à celle de la région parisienne (fig. 11.6).

11.3. DESCRIPTION STRUCTURALE SOMMAIRE

Dans la structure complexe de la région de l'Ile-de-France, *trois fosses principales* apparaissent du Nord au Sud (fig. 11.4, 11.5 et 11.6) :

- la fosse de Saint-Denis, au Nord de Paris, portant le toit du Calcaire grossier à la cote 0;

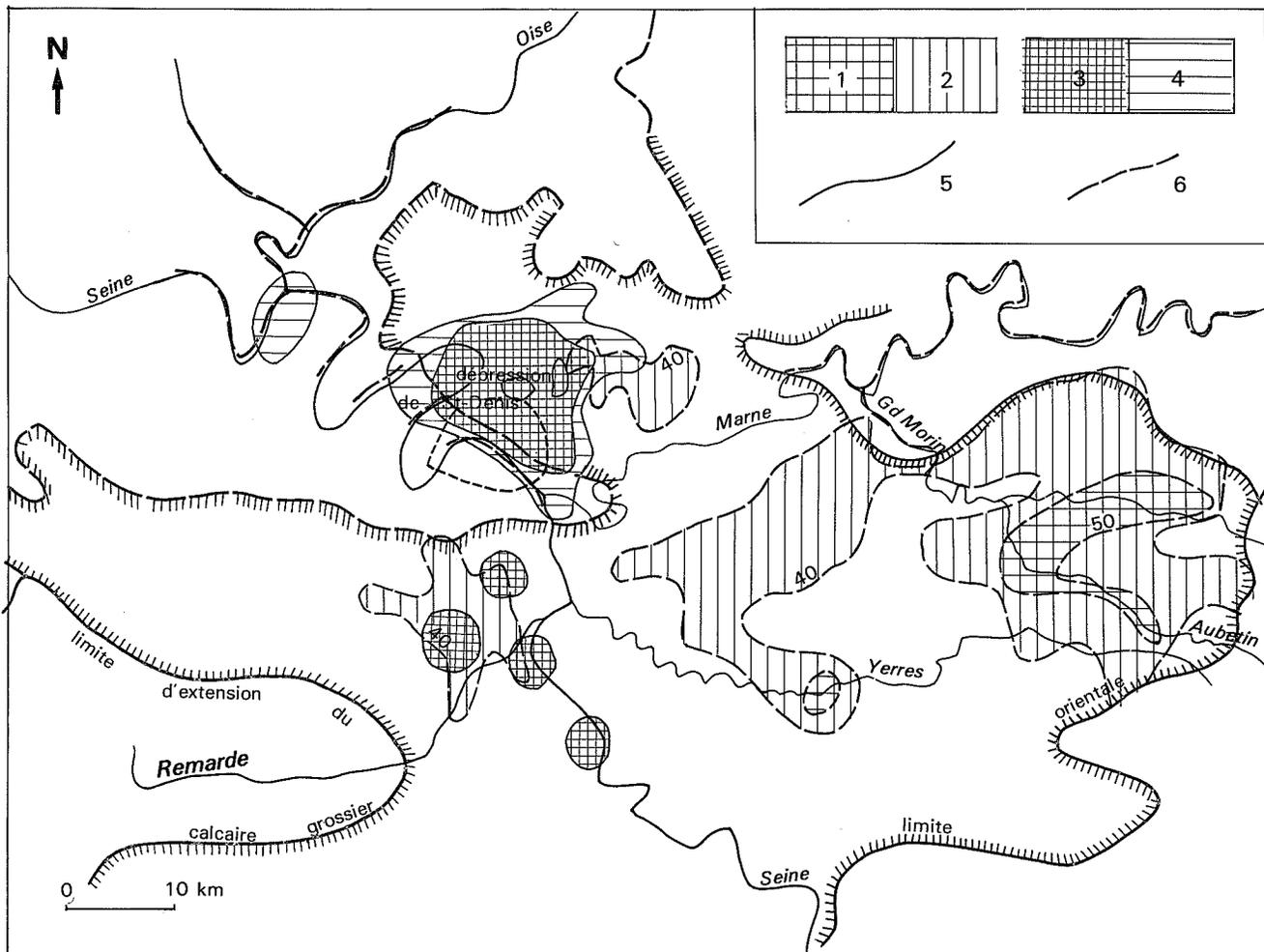


Fig. 11.6. — Aquifère du Calcaire grossier. Puissance et exploitation de l'aquifère

1 et 2 : épaisseurs noyées du Calcaire grossier, respectivement de 50 et 40 m; 3 et 4 : zones de surexploitation des eaux souterraines avec dépressions de la surface piézométrique permanente (3) ou temporaire (4); 5 : zones captives ou semi-captives; 6 : cours d'eau drainant l'aquifère.

EAUX SOUTERRAINES

- la fosse de Longjumeau-Pontault, au Sud de Paris, à axe Ouest-Est, avec altitude du toit du Calcaire grossier à — 10 m;
- la fosse de Beauce, vaste cuvette irrégulière s'élargissant vers le Sud, à axe subméridien (cote du toit du Calcaire grossier à — 50).

11.4. DESCRIPTION DES AQUIFÈRES

Bien que la formation multicouche de l'Éocène inférieur et moyen couvre une grande partie de la région parisienne, c'est seulement dans la zone hydrogéologique délimitée au Nord de la Marne et de la Seine que la lithostratigraphie, les structures et la géomorphologie permettent la localisation d'aquifères importants. La qualité chimique des eaux souterraines peut limiter également les zones d'exploitation. Ainsi la formation du Calcaire grossier déborde largement vers le Sud, mais la présence de gypse, surtout au centre (fig. 11.5), altère la potabilité des eaux (eaux séléniteuses).

Le tableau 11.2 donne quelques caractéristiques des trois aquifères individualisés avec leur variation, d'une zone géographique à l'autre.

L'aquifère des Sables de Bracheux, à la base, est localisé dans le Laonnois et le Soissonnais (fig. 11.1). La nappe est libre en vallée (légère mise en charge sous les alluvions) et captive en plateaux. Son niveau piézométrique est en général à la cote de base des Argiles du Soissonnais. Souvent il existe un

aquifère multicouche des Sables de Bracheux-Craie alimenté par les nappes supérieures avec un module spécifique de 3 à 6 l/s/km².

L'aquifère des Sables du Soissonnais est connu dans toute la zone, au Nord de la Marne et de la Seine (fig. 11.1). La roche-réservoir, sauf de rares exceptions (vallée de la Viosne par exemple), est saturée. En Soissonnais la nappe libre est perchée (fig. 11.2).

L'aquifère karstique du Calcaire grossier constitue, avec celui des Sables du Soissonnais, une seule unité pour l'exploitation des eaux souterraines. L'intérêt hydrogéologique de la roche-réservoir calcaire est limité localement, malgré sa puissance. En effet, elle est noyée seulement dans les cuvettes et zones synclinales, secteurs où son gisement est au-dessous de la surface piézométrique. L'aquifère captif a une puissance maximale au Nord-Est de la Seine dans la fosse de Saint-Denis (dénoyée au centre à Drancy-Aubervilliers par la surexploitation) et sous les vallées du Grand Morin, de l'Aubetin et de l'Yerres (fig. 11.6). À l'Ouest de l'Oise l'aquifère libre perché (5 à 20 m de puissance) est drainé par les rivières (la Viosne en particulier). Recouvert par la formation semi-perméable des Marnes et Caillasses du Lutétien supérieur à l'Est entre Oise et Marne, il devient semi-captif. Il est totalement dénuyé sur le flanc des vallées de la Seine en aval de Paris et des basses vallées de la Marne et de l'Oise.

Les possibilités locales d'exploitation sont également déterminées par la qualité chimique de l'eau, dégradée par la présence de gypse dans la roche-

TABLEAU
Caractéristiques hydrogéologiques de l'Éocène

Zone hydrogéologique	Vexin-Paris-Soissonnais-Laonnois		
	Lithostratigraphie	Perméabilité K ¹	Épaisseur (mètres)
Aquifère principal			
Calcaire grossier	Calcaire avec localement marno-calcaires, sables et gypses	AB	20-50
Sables du Soissonnais	Sables avec intercalations d'argiles	B	totale 0-90 en sables 0-70
Sables de Bracheux	Sables calcaires ou marnes	AB	0-30

1. Les perméabilités ont été classées en trois classes : B, bonnes; AB, moyennes; M, mauvaises.

réservoir (fig. 11.5). La zone d'exploitation des eaux souterraines est limitée par une ligne passant au Sud de Versailles, de Créteil et de la Marne.

Le toit de l'aquifère multicouche de l'Éocène inférieur et moyen est constitué par une formation semi-perméable comprenant les Marnes et Caillasses, alternances de calcaires silicifiés (Caillasses), de marnes et d'argiles à gypse du sommet du Lutétien et des Sables de Beauchamp (base de l'Éocène supérieur). Il ne constitue pas un écran entre les aquifères calcaires karstiques du Calcaire grossier et des Calcaires de Saint-Ouen. Des communications directes ont également lieu avec la nappe de l'Éocène supérieur à l'Est et avec celle de l'Oligocène à l'Ouest, dans le Hurepoix (fig. 11.4).

11.5. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Les valeurs du *coefficient d'emmagasinement* sont, d'après les rares essais de débits, de 6 à $14 \cdot 10^{-4}$ au forage de Neuilly, de 10^{-2} à 10^{-4} dans le Soissonnais (sables). Partant de la détermination de la diffusivité T/S, à partir des relevés de niveaux des crues de la Seine, on obtient $5 \cdot 10^{-4}$ (Avenue de Wagram à Paris) $1 \cdot 10^{-1}$ et $3 \cdot 10^{-3}$ (Hôtel de Ville de Paris). Ces chiffres ont une valeur approximative et correspondent plutôt aux zones où la formation est captive alors que déjà sur certains points elle est dénoyée par suite de l'abaissement du plan d'eau.

La *transmissivité* est en moyenne de 10^{-3} m²/s pour l'ensemble de l'aquifère. Elle est plus élevée dans la zone centrale par suite de la puissance du réservoir : 10^{-2} à 10^{-3} m²/s. Elle est plus faible, inférieure à 10^{-3} m²/s, au Nord et au NE dans les secteurs d'Ézanvielle, Mesnil-Amelot, Thieux et Saint-Mesmes. Pour les aquifères isolés, elle est de 10^{-2} à 10^{-3} m²/s pour les Sables de Bracheux, de 0,1 à $7 \cdot 10^{-3}$ m²/s pour les Sables du Soissonnais et de 0,06 à $90 \cdot 10^{-3}$ m²/s pour le Calcaire grossier.

11.6. PIÉZOMÉTRIE

État actuel de la surface piézométrique

Exception faite de la région nord de Paris (fosse de Saint-Denis) la surface piézométrique, établie à l'aide de 760 puits, est unique pour tous les aquifères. Sa morphologie épouse celle de la surface topographique.

La carte piézométrique montre que dans l'ensemble l'aquifère multicouche est limité à l'étendue de la région étudiée, par les affleurements et les crêtes d'eaux souterraines. Les apports extérieurs ne sont possibles qu'au N.NE entre Marne et Oise.

L'écoulement général des eaux souterraines est de direction Est-Ouest. La Brie représente une zone hydrogéologique bien individualisée avec une nappe régulière marquée par les courbes piézométriques N-S de valeurs décroissantes d'Est en Ouest, + 140

11.2

inférieure et moyen dans le bassin de Paris

Brie				Beauce			
Lithostratigraphie	Perméabilité K	Épaisseur (mètres)		Lithostratigraphie	Perméabilité K	Épaisseur (mètres)	
Calcaires Marno-calcaires, sables et gypses	AB	0-60		Calcaires ou lacune	M	0-20	
Sables et argiles Poudingue de Nemours	AB	totale	en sables	Sables et argiles Arkose du Breuillet	AB	totale	en sables
		10-90	0-5			0-40	0-20
Lacune							

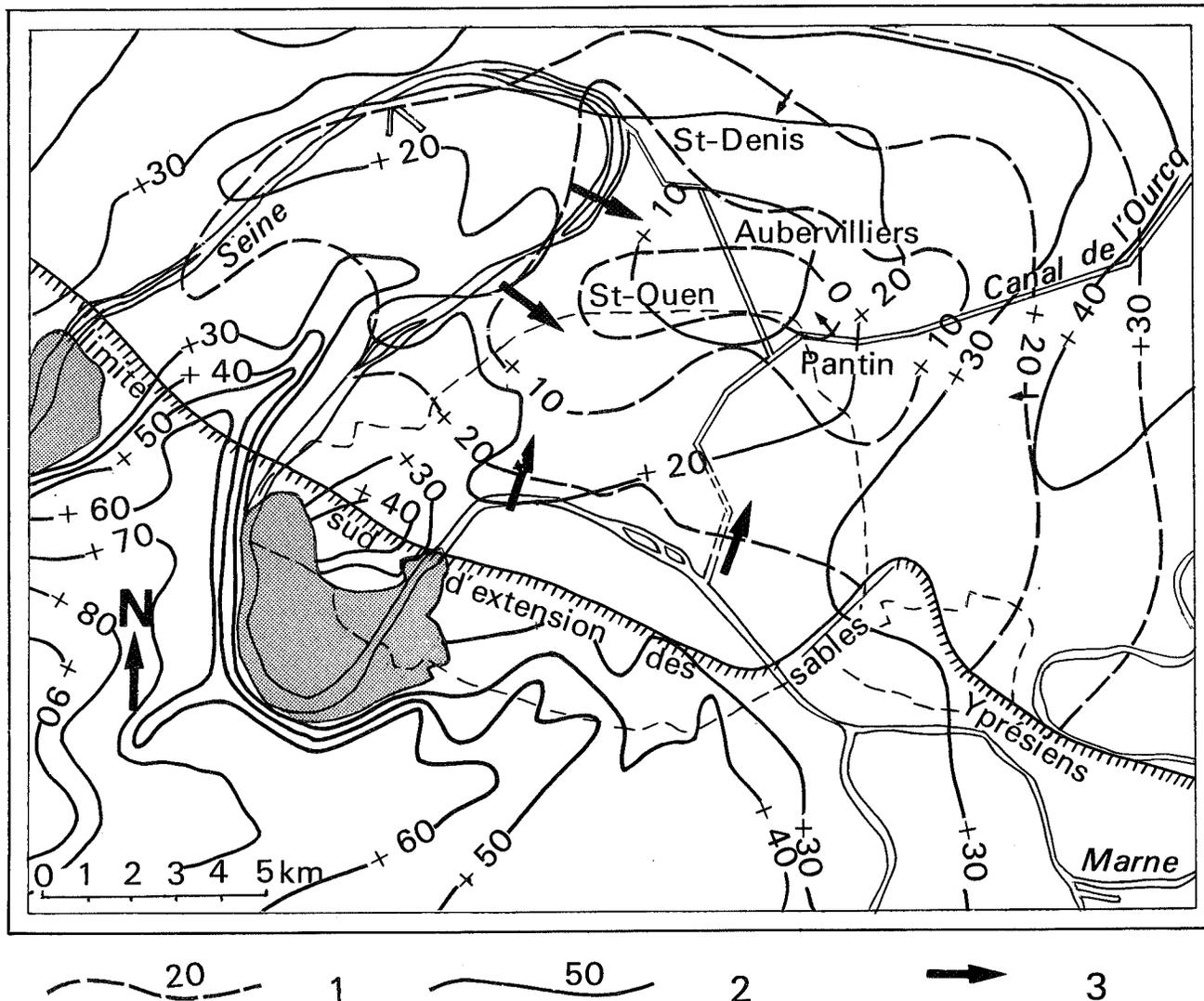


Fig. 11.7. — Dépression de la surface piézométrique de l'aquifère de l'Éocène inférieur et moyen au Nord de Paris (Saint-Denis—Pantin—Aubervilliers)

1 : courbe piézométrique de l'aquifère des Sables du Soissonnais ;
2 : courbe piézométrique de l'aquifère du Calcaire grossier ; 3 : alimentation de l'aquifère par la Seine

à Villiers-Saint-Georges, + 70 à Coulommès, + 40 à Brie-Comte-Robert. La surface piézométrique devient plus complexe à l'Ouest dans le Parisien et le Vexin.

L'aquifère est drainé par les rivières, lesquelles déterminent la morphologie de la surface piézométrique, accentuant l'effet du relief des vallées (Marne, Oise, Ourcq, Thérain). En particulier le drainage de la Seine, entre Melun et Paris, est très important (fig. 11.6).

Une vaste dépression piézométrique, conséquence de la surexploitation, apparaît, au Nord de Paris, dans la zone de Saint-Denis (fig. 11.6 et 11.7). Ce

vaste cône de dépression, d'un diamètre d'une dizaine de kilomètres avec un rabattement central de 25 m, a provoqué des perturbations dans le régime des eaux souterraines : inversion locale du sens de l'écoulement souterrain, la Seine alimentant l'aquifère contrairement au cas général (fig. 11.7). La coïncidence approximative des courbes piézométriques 0 et + 10 de l'aquifère des Sables du Soissonnais avec celles + 10 et + 20 de la nappe du Calcaire grossier, montre un abaissement relatif de 10 mètres.

Dans le Parisien le gradient hydraulique moyen vers la dépression de Saint-Denis est de 0,004. Dans le Vexin il peut atteindre 0,020.

Abaissement moyen annuel entre 1960 et 1965

Lors de l'exécution des premiers forages dans Paris et sa banlieue, au début du XIX^e siècle, le niveau piézométrique de l'aquifère des Sables du Soissonnais s'établissait entre les altitudes de + 40 m et + 50 m. Actuellement sa cote, voisine de 0 et même inférieure, traduit un abaissement considérable. Dans la fosse de Saint-Denis l'abaissement moyen est de 40 m en 140 ans. Ce phénomène s'accroît au cours des dernières années, le rabattement moyen annuel étant de 1,20 m entre 1960 et 1965. En prenant respectivement comme valeur du coefficient d'emmagasinement, $1,10^{-3}$ pour le Calcaire grossier et $8,10^{-4}$ pour les Sables du Soissonnais, le volume d'eau correspondant peut être estimé à 300 000 m³/an.

11.7. CAPTAGES

Dans cette région 560 points d'eau ont été inventoriés sur plus de 1 000 et 756 sur 1 400 pour l'ensemble de l'aquifère. La profondeur des ouvrages varie de 5 à 150 m. La plupart des puits atteignent 80 m au Nord de Paris, 120 m en Brie, 10 à 150 m en Beauce.

Le débit moyen des sources, élevé dans le Parisis (12 l/s), s'abaisse dans le Vexin (2 l/s), puis dans la Brie (1 l/s). Il est de 1,7 l/s dans la Beauce.

En Parisis les débits moyens des ouvrages sont en général plus élevés dans les Sables du Soissonnais que dans le Calcaire grossier. Ces données ont été groupées dans le tableau 11.3.

TABLEAU 11.3
Moyenne des débits obtenus au cours de pompages d'essais (en m³/h)

Région	Aquifères		
	Calcaire grossier Lutétien	Sables du Soissonnais Yprésien	Complexe aquifère Thanétien
Parisis-Goële	50-60	80-85	50-60
Vexin	20-30	50-60	30
Brie	30-40	20-30	20-30
Beauce	30-40	30	20-30

11.8. PRÉLÈVEMENTS PAR POMPAGE

Une enquête portant sur une partie seulement des points d'eau dans l'ensemble de l'aquifère, en 1965 a donné un volume d'eau prélevé de 130 244 300 m³. Mais le volume réel doit atteindre 210 000 000 de m³. Il se répartit comme suit : 40 % pour les Sables du Soissonnais et 60 % pour le Calcaire grossier (tableau 11.4).

TABLEAU 11.4
Prélèvements dans l'aquifère des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier, pour 1965 (m³/j)

Zone hydrogéologique	Prélèvements	
	mesurés	totaux estimés
Soissonnais	28 000 000	40 000 000
Parisis-Goële	84 587 220	141 000 000
Vexin	4 824 400	8 000 000
Beynes	2 605 700	4 000 000
Brie	6 230 200	10 000 000
Beauce	3 996 780	7 000 000
Totaux	130 244 300	210 000 000

La répartition des consommations par usages est la suivante : industrie 55,2 %, agriculture 0,6 %, domestique 44,2 %.

11.9. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Les données des analyses chimiques ont été groupées dans le tableau 11.5 et sur la figure 11.8. Le faciès dominant est bicarbonaté, calcique et

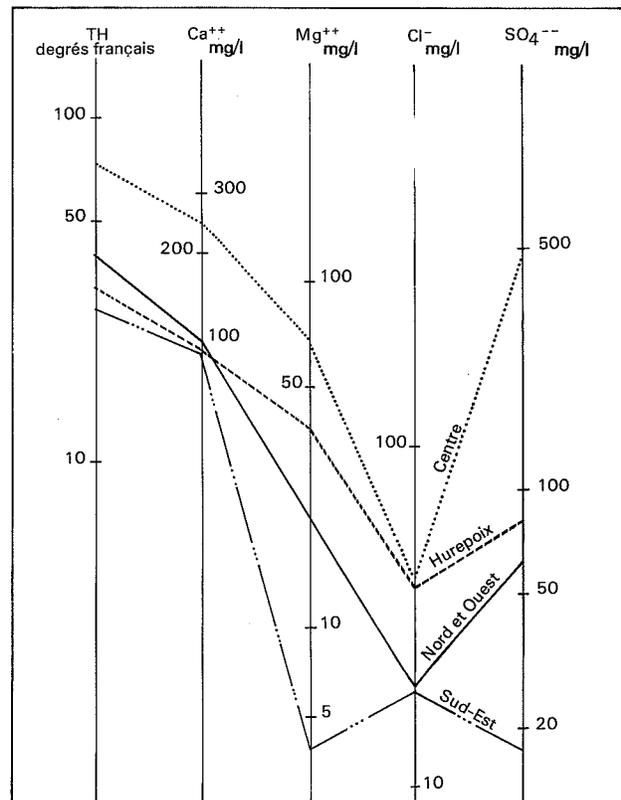


Fig. 11.8. — Diagrammes d'analyses chimiques des eaux de l'aquifère

EAUX SOUTERRAINES

magnésien. Dans l'ensemble les eaux du Calcaire grossier sont plus minéralisées que celles des Sables du Soissonnais, surtout dans le Parisis.

	mg/l			
	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Calcaire grossier . . .	25	120	160	30
Sables du Soissonnais .	19	60	110	20

L'étude des sels dissous permet de distinguer quatre provinces hydrochimiques (fig. 11.5 et 11.8) :

- la province nord et ouest couvrant le Laonnois, le Soissonnais, le Parisis, le Vexin et les Yvelines;
- la province centrale où la présence de gypse dans le Calcaire grossier se traduit par une minéralisation élevée, surtout en sulfates;
- la province du Hurepoix;
- la province SE de Brie et de Bière à minéralisation plus faible.

Notons localement, dans le Soissonnais par exemple, un enrichissement en nitrates qui semble dû aux engrais et pesticides (champignonnières).

TABLEAU 11.5

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère complexe des Sables du Soissonnais et du Calcaire grossier. Provinces hydrochimiques

Provinces hydrochimiques	Nombre d'analyses	Résistivité moyenne ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l				
				Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Nord et Ouest	175	1 465	40	20	60	111	21	0,2
Centre	160	905	73	39	460	250	64	0,2
Hurepoix	13	1 128	32	38	80	106	38	0,06
Sud-Est	48	2 004	28	19	17	101	4	2,4

11.10. CONCLUSIONS

Des zones de prélèvements importants avec rabattement permanent de la surface piézométrique apparaissent dans les régions nord et sud de Paris (fig. 11.6). Les principales sont localisées dans les communes industrielles de la banlieue nord et la fosse de Saint-Denis et dans les zones de Corbeil, de Viry-Chatillon, de Longjumeau. Dans ce dernier

secteur en particulier, une sévère réglementation des pompages doit intervenir.

Par contre des zones sont intéressantes à prospector pour l'extension de l'exploitation entre la Marne et l'Oise.

Les données pour des calculs de bilans manquent, surtout en ce qui concerne l'alimentation en eau en provenance des aquifères extérieurs. Le fait certain est que, dans la fosse de Saint-Denis, les prélèvements sont supérieurs aux apports d'eau.

AQUIFÈRE MULTICOUCHE DU CALCAIRE DE CHAMPIGNY

Zone hydrogéologique de la Brie

12.1. CADRE GÉNÉRAL

Au SE de Paris, entre Seine et Marne, s'étend la vaste zone hydrogéologique de la Brie, se prolongeant au Sud vers Corbeil par la Bière. L'exploitation des eaux souterraines intéresse essentiellement

l'aquifère du Calcaire de Champigny (Éocène supérieur : Ludien). Cette zone est limitée à l'Est par la Côte de l'Île-de-France surplombant le substratum de la Craie du Gâtinais, Sénonais et de Champagne pouilleuse (fig. 12.1). Au SW et à l'Ouest, elle correspond à la limite d'extension des marnes vertes supragypseuses du sommet de l'Éocène supérieur.

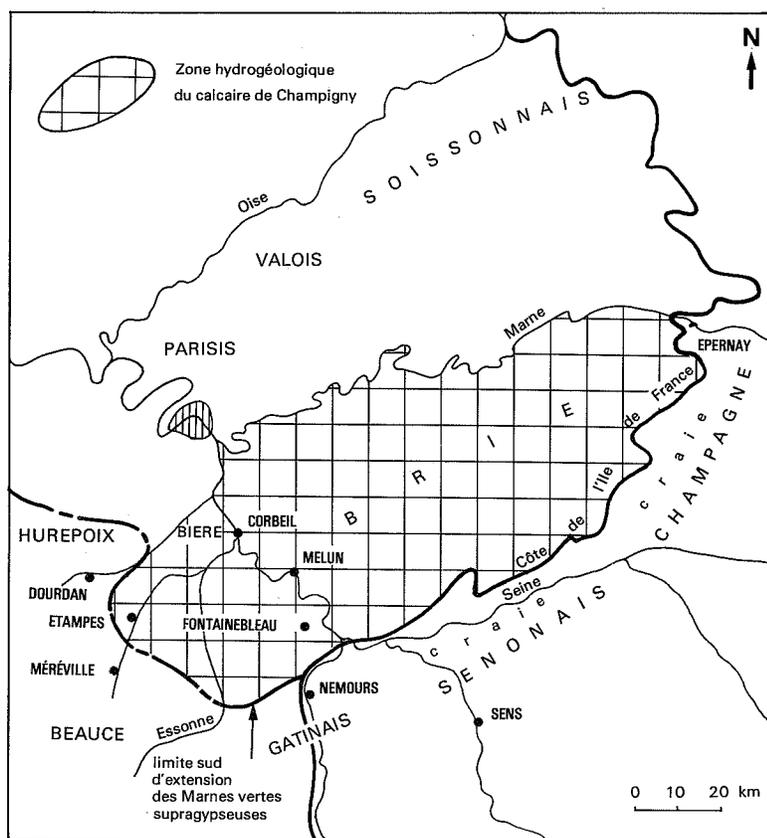


Fig. 12.1. — Zone hydrogéologique de la Brie avec localisation de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny

12.2. DESCRIPTION SOMMAIRE
DU RÉSERVOIR

L'étude de la lithostratigraphie de l'Éocène supérieur montre la dominance des calcaires avec nombreux niveaux de sables et d'argiles subissant des variations latérales de faciès aussi rapides que fréquentes. Le rôle hydrogéologique principal revient à la formation calcaire karstique du Calcaire de Champigny (Ludien). Mais certains niveaux, prenant localement un faciès calcaire lacustre (Calcaire de Saint-Ouen en particulier), forment avec le Calcaire de Champigny un réservoir à dominance calcaire¹. Le terme de formation du Calcaire de Champigny est appliqué au complexe lithostratigraphique ainsi constitué. Il est possible d'individualiser dans l'Éocène supérieur, de bas en haut, les formations ci-dessous (tableau 12.1 et fig. 12.2).

— *La formation semi-perméable des « Sables » de Beauchamp (Auversien)* avec des argiles et argiles sableuses, coupées de quelques lits calcaires de faible

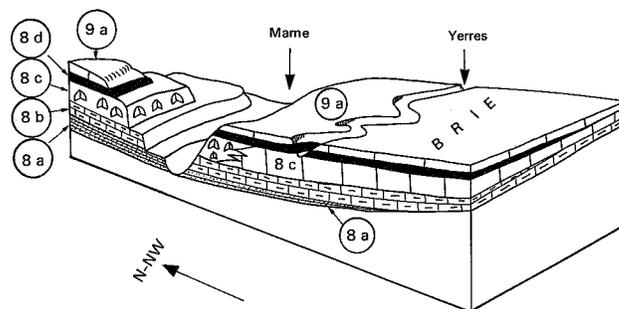


Fig. 12.2. — Bloc diagramme schématique représentant la succession de formations géologiques sous la Brie, constituant le réservoir de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny.

8a : formation semi-perméable des Sables de Beauchamp (Auversien) ; 8b : formation calcaire karstique du Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien) ; 8c : formation du Calcaire de Champigny (Ludien moyen) ; les calcaires karstiques au Nord de la Marne en Brie passent par variation latérale de faciès à des gypses au Sud ; 8d : formation semi-perméable des marnes supragypseuses (Ludien supérieur) ; 9a : formation du Calcaire de Brie (Oligocène-Sannoisien).

TABLEAU 12.1

Lithostratigraphie de l'Éocène supérieur

Épaisseurs (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie	
1-13		Marnes supragypseuses, marnes calcaires, gypse et marnes argileuses vertes ou brunes à la base	supérieur	LUDIEN
20-35	Formation calcaire karstique du Calcaire de Champigny, Calcaires bréchoïdes, fissurés à passées marneuses	(latéralement marnes et gypses au Nord de la Marne)	moyen	
5-15		Marnes infragypseuses marno-calcaires et marnes avec passées sableuses « Sables de Monceau »	inférieur	
15-30	Formation calcaire karstique du Calcaire de Saint-Ouen, alternance de calcaires fissurés, parfois marneux Niveaux de gypse locaux		MARINÉSIE	
1-30		Argiles et argiles sableuses dites « Sables de Beauchamp »	AUVERSIEN	

perméabilité constitue, avec les Marnes et Caillasses du Lutétien supérieur, le substratum de l'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur. Son épaisseur

diminue du NW (30 m) vers l'Est et le Sud (moyenne de 5 m). Un réservoir localisé apparaît au Nord de la Marne et de la Seine avec un niveau de sables

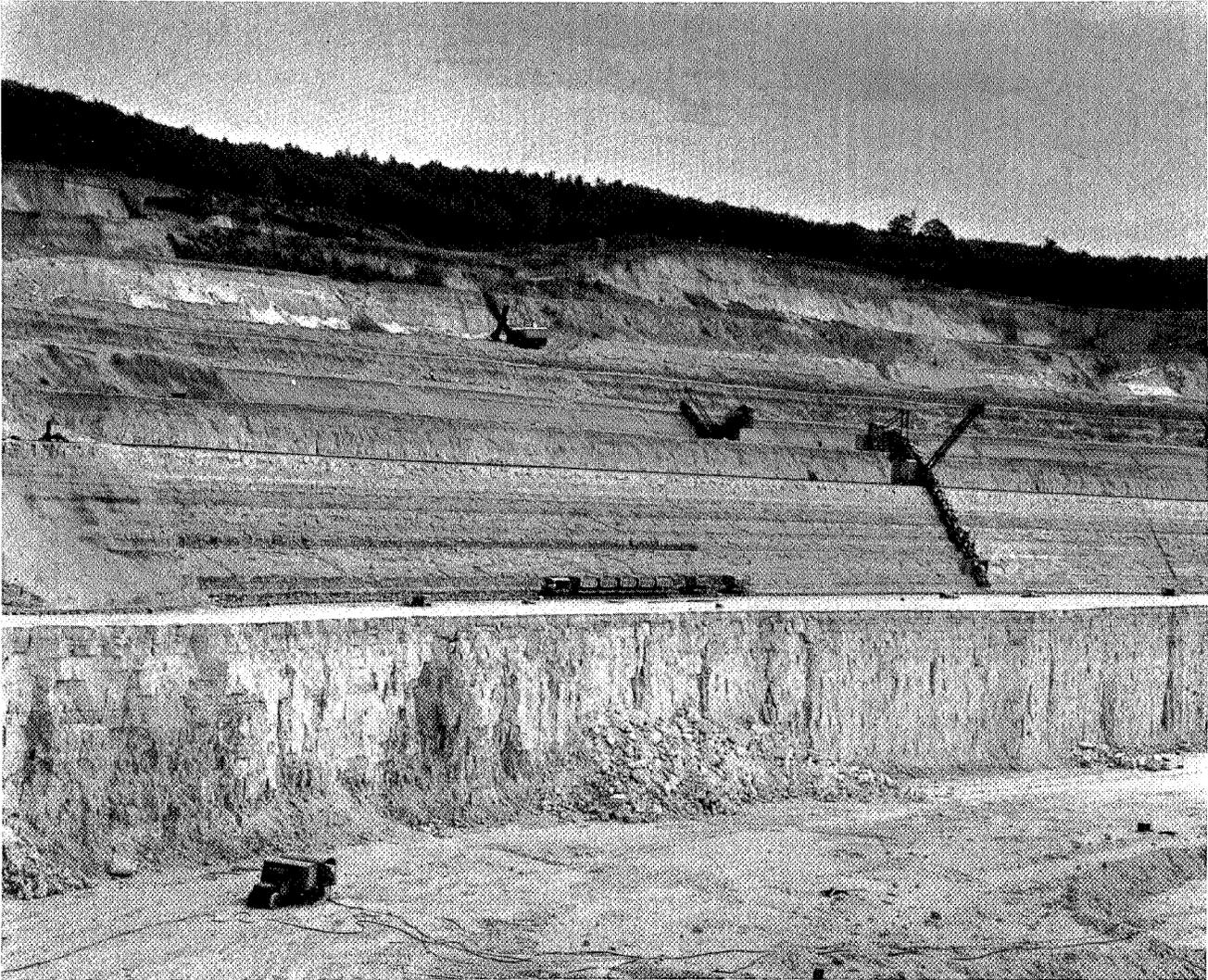
1. Au Sud de la Brie, le Lutétien, également lacustre, fait partie intégrante de ce réservoir.

AQUIFÈRE DU CALCAIRE DE CHAMPIGNY

très fins et très bien classés (médiane : 0,1 mm) (fig. 12.2).

— *La formation calcaire karstique du Calcaire de Saint-Ouen (Marinésien)*, localisée en Beauce et en Brie, présente des passages latéraux de faciès permettant de localiser trois zones types de roche-réservoir (tableau 12.2) :

- la zone des calcaires couvrant la Brie et la Beauce, avec des formations aquifères importantes en Beauce;
- la zone des gypses au Nord de la Marne et de la Seine en Valois-Parisis-Soissonnais, avec des eaux séléniteuses (fig. 12.3);
- la zone des marnes à l'Ouest peu aquifères.



(Photo A. Perceval)

Fig. 12.3. — Carrière de gypse à Cormeilles-en-Parisis.

La carrière entame la butte-témoin de Cormeilles-en-Parisis et montre une coupe stratigraphique s'étendant du Bartonien supérieur (Ludien) au Stampien supérieur. Actuellement le front a 110 m de hauteur.

Le plancher de la carrière, non visible sur la photographie, est constitué par le Gypse de la troisième Masse, recouvert des Marnes à Lucines, de la deuxième Masse du Gypse, et des Marnes d'entre-deux Masses. La première couche visible sur la photographie est la Haute-Masse du Gypse (gypse saccharoïde), épaisse de 17 m. Au-dessus on distingue : les Marnes bleues d'Argenteuil, les Marnes blanches de Pantin, les Glaises brunes à Cyrènes, l'Argile verte de Romainville, les Calcaires de Sannois et Caillasses d'Orgemont, les Marnes à Huîtres, et enfin les Sables de Fontainebleau.

TABLEAU 12.2

Caractéristiques hydrogéologiques de l'Éocène supérieur

Zone hydrogéologique	Brie		Bière-Essonne		Yvelines		Haute-Marne et Seine	
	Lithostratigraphie	K ¹ épais.	Lithostratigraphie	K épais.	Lithostratigraphie	K épais.	Lithostratigraphie	K épais.
Marnes vertes supragypseuses	Marnes argileuses	10-25	Marnes argileuses	0-20	Marnes argileuses	4-25	Marnes argileuses	25
Formation du Calcaire de Champigny ou faciès gypse	Calcaires fissurés	B 20-35	Calcaires fissurés	B 20-30	Marnes et gypses	4-30	Marnes et gypses	20-35
Marnes infragypseuses (Marnes à Pholadomies)	Marno-calcaires	1-2	Marno-calcaires	0-1	Marnes calcaires	0-2	Marnes calcaires	2-4
Sables de Monceau	Marnes sableuses	0-2	Marnes sableuses	0-1	Marnes sableuses	0-2	Sables fins	A B 1-4
Formation du Calcaire de Saint-Ouen	Marno-calcaires	A B 10-20	Marno-calcaires	A B 10	Marno-calcaires	A B 1-20	Calcaires marneux	A B 10-20
«Sables» de Beauchamp	Argiles sableuses	0-8	Argiles sableuses	0-4	Sables argileux	0,8	Sables fins	A B 10-30

1. Les perméabilités ont été classées en trois classes : B, bonne; AB, moyenne; M, mauvaise. Les hachures croisées indiquent les roches semi-perméables ou imperméables.

Dans la zone des calcaires, la formation présente une alternance de calcaires marneux ou siliceux, fissurés et karstifiés par places et d'argiles avec localement des niveaux de gypse ou de sable. Les calcaires, surtout développés dans le secteur est de la Brie au Nord de la Seine et de la Marne, constituent un réservoir assez constant de 15 à 50 m d'épaisseur (15 m en moyenne). Leur limite d'extension vers l'Est passe par Melun-Fontainebleau-Épernay (fig. 12.4).

— *La formation semi-perméable des Sables de Monceau (Marinésien) et des marnes infragypseuses (base du Ludien)* est localisée au Nord de la Marne. Les *marnes infragypseuses* ou Marnes à Pholadomies, argileuses, localement sableuses (Vexin), calcaires ou gypseuses (Cormeilles-Meaux) (fig. 12.3), constituent un niveau constant de 1 à 4 m d'épaisseur (2 m en moyenne). Les *Sables de Monceau* (ou Sables de Marines) souvent argileux avec passées de grès et de marnes, peu épais de 3 à 12 cm, ne présentent aucun intérêt pour les eaux souterraines.

— *La formation calcaire karstique du Calcaire de Champigny (Ludien)* est un faciès lacustre du Ludien moyen, développé dans la Brie et débordant au Sud dans la Bière et l'Essonne (fig. 12.4). Le réservoir des calcaires lacustres, bréchoïdes, souvent silicifiés, avec quelques lits marneux, peut atteindre une puissance de 25 à 35 m (25 m en moyenne).

Au Nord et au NE, entre Marne et Oise et au SW de Paris, dans les Yvelines, *tout le Ludien est représenté par une formation gypseuse* avec intercalations de Marnes vertes au sommet (25 à 40 m) (fig. 12.3). Par suite de ce passage de faciès la formation du Calcaire de Champigny est absente.

A l'Ouest, dans le Hurepoix et le secteur d'Arpajon et au SW, la formation devient plus marneuse avec quelques bancs de calcaires ou de gypses (fig. 12.4)

— *La formation semi-perméable des marnes supragypseuses (Ludien)* avec une masse de gypse au sommet d'une puissance de 10 à 13 m, constitue, avec les Marnes vertes de Romainville (Sannoisien) qui les surmontent, le toit de la formation aquifère multicouche du Calcaire de Champigny.

12.3. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA FORMATION AQUIFÈRE MULTICOUCHE DU CALCAIRE DE CHAMPIGNY

La formation aquifère est bien délimitée lithologiquement par son substratum : Marnes, Caillasses et Sables de Beauchamp et par son toit : de Marnes vertes supragypseuses et Marnes vertes de Romainville. Mais en ce qui concerne les eaux souterraines,

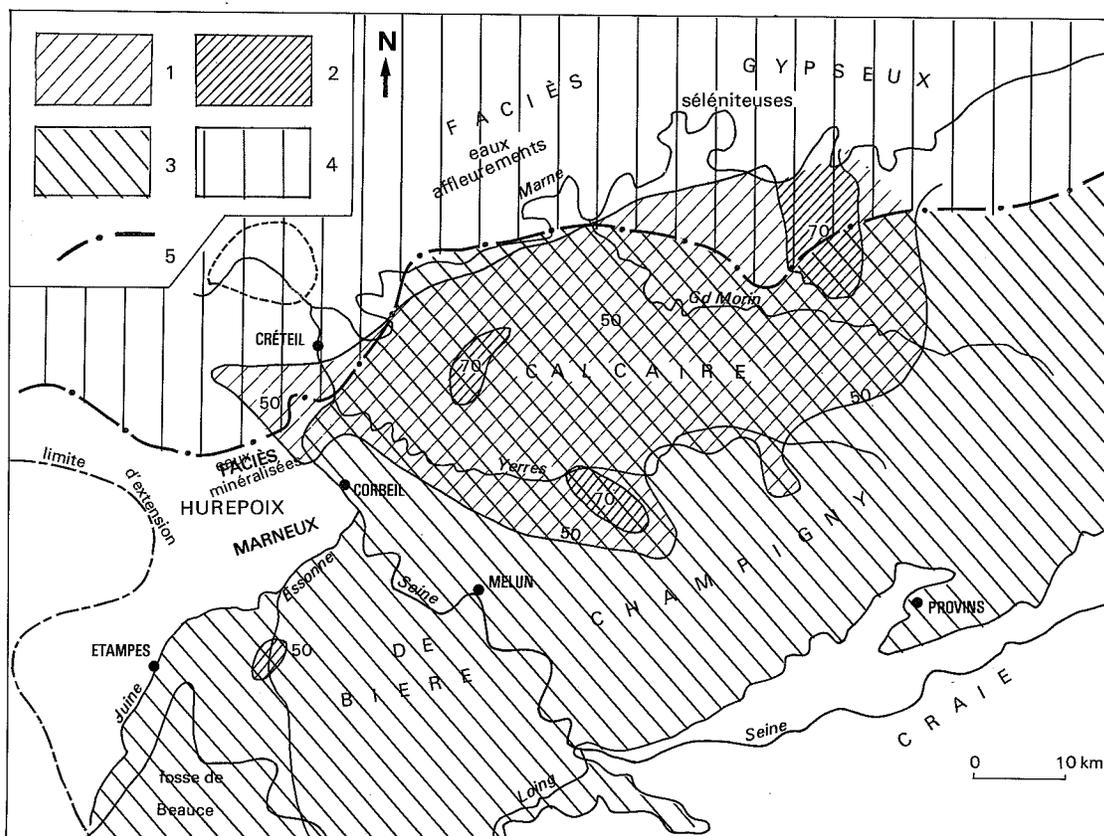


Fig. 12.4. — Formation du Calcaire de Champigny (Ludien moyen). Lithologie du réservoir. Relations avec la composition chimique des eaux souterraines. Provinces hydrogéochimiques

1 : épaisseur totale du réservoir comprise en 50 et 70 m ; 2 : épaisseur totale du réservoir supérieure à 70 m ; 3 : faciès calcaire karstique du Calcaire de Champigny délimitant la province hydrogéochimique Brie-Beauce à eaux carbonatées calciques peu ou moyennement minéralisées ; 4 : faciès gypseux avec province septentrionale à eaux séléniteuses. A l'Est le faciès marneux localise une province hydrogéochimique occidentale à eaux très minéralisées.

des communications sont possibles avec le réservoir sous-jacent du Calcaire grossier soit par percolation à travers le substratum, soit par disparition stratigraphique des Sables de Beauchamp. De même elles existent à travers le toit, percé de gouffres ou par lacune de dépôt des marnes. En particulier au SE, les marnes supragypseuses et les Marnes vertes n'étant plus représentées, Calcaire de Champigny et Calcaire de Brie constituent un réservoir unique.

Le toit de la formation du Calcaire de Champigny (ou de son équivalent de faciès, le Gypse) culmine à + 150 m à + 160 m dans la bordure orientale de l'Île-de-France. Il s'enfonce progressivement du N.NE vers le S.SW pour atteindre l'altitude + 100 m au Petit-Morin, + 50 m dans la vallée de la Seine et le Hurepoix et 0 dans la Beauce méridionale (fosse de Beauce déjà marquée à l'Éocène inférieur et moyen). A l'Ouest de la Seine, dans les Yvelines, sa profondeur est en général inférieure à 60 m.

L'épaisseur totale de la formation, maximale sous la Brie avec 60 m et même localement 70 m (Combault, Coulommiers et La Ferté-sous-Jouarre), diminue vers le Sud de la Seine (30 à 40 m en Beauce) et vers l'Ouest (fig. 12.4 et 12.5).

Par suite de la structure hydrogéologique, le réservoir n'est pas entièrement saturé de telle sorte que la puissance de l'aquifère, maximale en Brie avec 40 à 50 m, diminue sous les vallées de la Seine avec 10 à 20 m et atteint 30 à 40 m en Beauce où la nappe est captive.

La limite pratique d'extension de l'aquifère vers l'Ouest passe au Sud de Paris et de la vallée de la Marne selon une ligne Saint-Léger-en-Yvelines, Limours, Arpajon, Méréville. L'anticlinal de la Remarde (Rambouillet-Dourdan-Ables) la borde au SW.

L'aquifère est en communication avec le réservoir de l'Oligocène supérieur et avec le réservoir de l'Éocène moyen et supérieur.

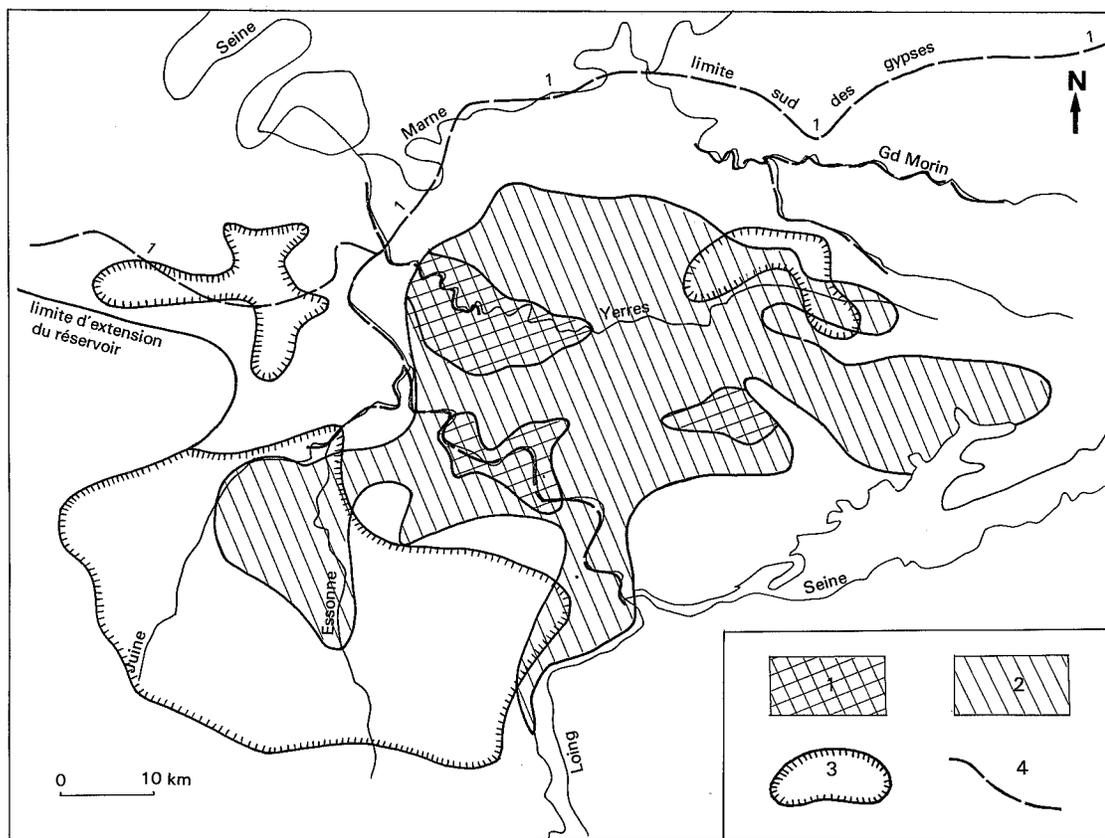


Fig. 12.5. — Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny. Caractéristiques de l'aquifère

- 1 : zone à ressources en eaux souterraines très importantes ; 2 : zone à ressources en eaux souterraines importantes ;
3 : zone où l'aquifère est captif ou semi-captif ; 4 : cours d'eau drainant l'aquifère

Comme pour les formations sous-jacentes, l'exploitation des eaux souterraines est déterminée par la localisation des réservoirs aquifères : faciès calcaire du Calcaire de Champigny développé dans les zones sud et sud-est et faciès sableux des Sables de Beauchamp connu au Nord. Mais l'aquifère du Calcaire de Champigny est exploité seulement en Brie car ailleurs, au Nord de l'Ile-de-France et entre Paris et Longjumeau, le développement des gypses entraîne la dégradation de la potabilité des eaux (fig. 12.4).

12.4. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Le coefficient d'emmagasinement du Calcaire de Champigny est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2}$ en nappe libre et de $4 \cdot 10^{-4}$ en nappe captive.

La roche-réservoir est hétérogène, de telle sorte que les *transmissivités* varient entre 10^{-2} et 10^{-3} m²/s

pour le Calcaire de Champigny et de 10^{-3} à 10^{-4} m²/s pour le Calcaire de Saint-Ouen.

L'écoulement souterrain présente le type réseau aquifère à surface piézométrique. Cependant certaines circulations souterraines karstiques ont été reconnues par traceurs parfois sur de longs trajets (plus de 20 km) et avec des vitesses rapides, en moyenne de 7 000 m/j, surtout dans l'Est. Il existe des puits soufflants ou aspirants.

12.5. PIÉZOMÉTRIE

Morphologie de la surface piézométrique — Carte piézométrique

Le nombre d'ouvrages (850 sont inventoriés) a permis de dresser une carte piézométrique précise de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny. La zone hydrogéologique de la Brie est bien individualisée. L'écoulement souterrain général est orienté E-W avec un gradient hydraulique de 0,002, des

courbes piézométriques + 140 à + 50 (Brie-Comte-Robert). Au Sud l'écoulement S.SW-N.NE, de + 70 à + 40, s'effectue vers la Seine dont l'axe de drainage est très marqué. La nappe est généralement libre avec une surface piézométrique en moyenne à 15 m sous le toit. Les rivières alimentent la nappe dans leur cours supérieur et la drainent à l'aval.

Fluctuations de la surface piézométrique

Les variations du niveau piézométrique, saisonnières et interannuelles, ne semblent pas dépasser 6 m, sauf dans la région est. Il n'existe pas de différence notable entre les niveaux les plus anciens et les niveaux récents ou actuels.

12.6. CAPTAGES ET PRÉLÈVEMENTS

Les débits des captages, en raison du régime karstique de l'aquifère, sont très variables. Le débit des sources, souvent élevé, est utilisé presque exclusivement pour l'alimentation en eau potable. A noter les captages de la Ville de Paris aux sources de Provins sur la Voulzie (fig. 12.6 et 12.7) (débit moyen pour la période de 1950 à 1964, 80 000 m³/j) au puits de la basse vallée de l'Yerre (40 000 m³/j) et aux sources de la Dhuis (25 000 m³/j). Des débits importants sont également obtenus au Mée (1 000 m³/h), à Bellancourt (800 m³/h). Le tableau 12.3 donne un aperçu des volumes d'eau annuels prélevés en 1965.



(Photo Direction des services industriels et commerciaux)

Fig. 12.6. — Source du Dragon

Cette source fait partie du groupe qui a été capté dans la Voulzie près de Provins. État de la source pendant la période d'observation avant captage dans les Calcaires de Champigny.

TABLEAU 12.3

Données sur les prélèvements dans l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny pour l'année 1965

Zone hydrogéologique	Prélèvements mesurés		Prélèvements totaux estimés en m ³ /an
	m ³ /an	%	
<i>Calcaires de Champigny</i>			
Brie	76 214 050	80	124 000 000
Vallée de la Seine (amont Orge)	9 042 260	9,5	18 000 000
Bièvre-Essonnes-Gâtinais	5 176 440	5,5	7 000 000
Yvelines	939 560	1	2 000 000
<i>Sables de Beauchamp et Calcaire de Saint-Ouen</i>			
Tardenois, Goële, Parisis, Vexin	3 877 340	4	9 125 000
Totaux	95 249 650		160 125 000

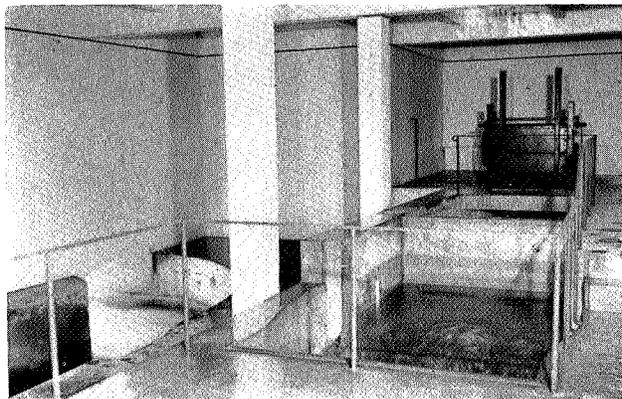


Fig. 12.7. — Bassin de départ des captages de la Voulzie Déversoir de mesure. Les captages de la Voulzie, exécutés par galeries dans les Calcaires de Champigny, envoient à Paris environ 100 000 m³ d'eau par jour.

12.7. ESSAIS DE BILAN DES EAUX SOUTERRAINES

L'aquifère est alimenté par l'infiltration des eaux de pluie sur l'impluvium des affleurements et par drainage de l'aquifère de l'Oligocène superposé. Ce drainage s'effectue par le flanc des vallées, par les gouffres traversant les Marnes vertes et supragypseuses particulièrement à l'Est et au SE et par percolation à travers les formations semi-perméables du toit et du substratum.

Les données pour le calcul du bilan sont peu nombreuses et peu précises. Un bilan a pu être établi pour le bassin hydrogéologique *des sources de Provins*, Voulzie et ses affluents. Le débit des sources, captées par la Ville de Paris, et les précipitations sont connus depuis 1930. La superficie du bassin d'alimentation est de 240 km² (à 20 % près). Les résultats sont donnés au tableau 12.4. Le module spécifique annuel moyen de l'écoulement souterrain est de 5 l/s/km².

12.8. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES.

Trois provinces hydrochimiques, correspondant aux zones de faciès de la formation du Calcaire de Champigny, peuvent être reconnues (fig. 12.4 et 12.8 et tableaux 12.3, 12.4 et 12.5).

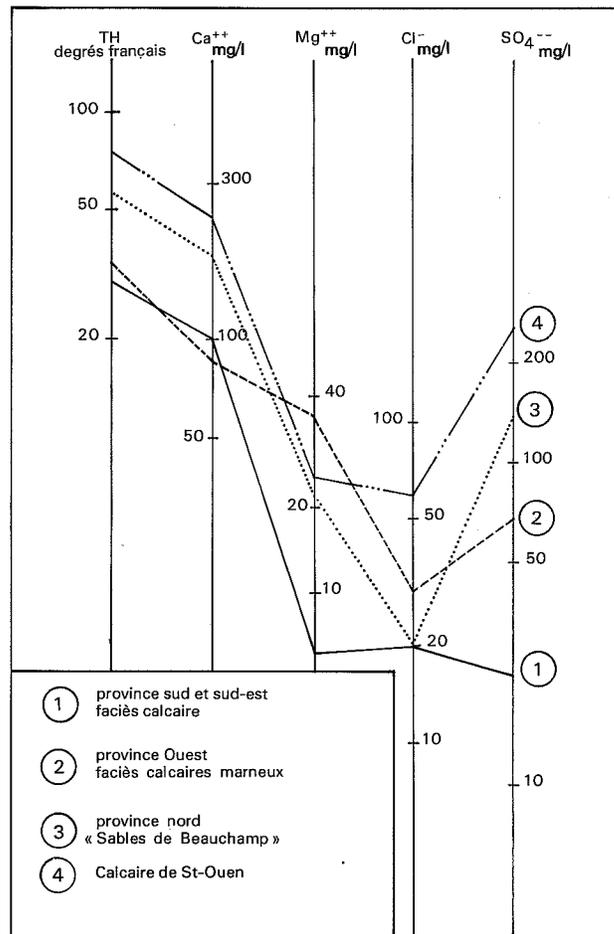


Fig. 12.8. — Diagrammes d'analyses d'eau

TABEAU 12.4

Bilan annuel moyen du bassin hydrogéologique des sources de Provins dans le Calcaire de Champigny. Période 1950-1964

Apports			Sorties		
	mm	10 ⁶ m ³ /an		mm	10 ⁶ m ³ /an
Précipitations	685	164	Évapotranspiration réelle .	470	113
			Débit des sources	158	38
			Ruissellement	14	3
				642	154
Variation de la réserve .	43	10			

AQUIFÈRE DU CALCAIRE DE CHAMPIGNY

- la *province de Brie-Beauce* avec des eaux de type *carbonaté calcique*. La minéralisation augmente du SE vers le NW. Elle correspond au faciès calcaire dit Calcaire de Champigny;
- la *province du Parisis-Valois-Soissonnais* au Nord de la Marne et de la Seine, de Paris à Mantes, avec des eaux *séléniteuses*, couvrant le faciès gypseux du Ludien. Les eaux de l'aquifère des Sables de Beauchamp, seule ressource possible dans cette zone, sont elles-mêmes fortement minéralisées par lessivages des terrains supérieurs gypseux et par la présence de passées de gypse dans le réservoir;

- la *province occidentale*, avec des eaux à *minéralisation souvent élevée*, particulièrement en Magnésium et sulfates. Elle correspond au faciès marneux du Ludien (argiles magnésiennes et passées de gypse).

En outre, localement la qualité chimique de l'eau souterraine peut être altérée par des causes accidentelles dont les principales sont : communications avec la nappe supérieure plus ou moins polluée, pollution par des forages absorbants (sucreries, eaux superficielles), pollution naturelle par mise en solution de sels contenus dans la roche-réservoir (gypse, argiles magnésiennes).

TABLEAU 12.5

**Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère multicouche du Calcaire de Champigny.
Provinces hydrochimiques**

Provinces hydrochimiques	Formations lithostratigraphiques	Nombre d'analyses	Résistivité moyenne ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l				
					Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Province sud et sud-est									
Brie	Calcaire de Champigny	149	1 900	31	21	21	100	6,5	0,1
Vallée de la Seine (amont Orge)		23	2 005	30	21	22	97	6	
Bière-Essonnes-Gâtinais		52	2 115	25	16	17	90	9	0,3
Ensemble de la province	Calcaire de Saint-Ouen	224	1 951	29	20	22	96	7,5	0,1
Province ouest									
Yvelines	Calcaires marneux	17	1 239	34	28	65	84	35,5	0,2
Province nord									
Nord, Marne et Seine (Vexin-Parisis-Tardenois)	Gypse (équivalent gypseux du Calcaire de Champigny)								
	Calcaire de Saint-Ouen	6	1 611	74	59	256	238	21	
	Sables de Beauchamp	29	1 236	56	20	140	182	21	0,1
Ensemble de l'aquifère		35	1 300	57	21	142	185	21	0,05

12.9. CONCLUSIONS

En conclusion l'aquifère du Calcaire de Champigny peut fournir des débits supplémentaires dans le Sud et le Sud-Est de la région parisienne. Mais

toutefois il importe de surveiller l'implantation des nouveaux captages, les forages trop rapprochés pouvant perturber l'écoulement des eaux souterraines. L'évolution de la qualité chimique des eaux est à surveiller.

AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'OLIGOCÈNE, DU CALCAIRE DE BRIE, DES SABLES DE FONTAINEBLEAU ET DU CALCAIRE DE BEAUCE

Zone hydrogéologique de la Beauce-Hurepoix

13.1. CADRE GÉNÉRAL

La zone hydrogéologique de la Beauce, vaste surface tabulaire de 8 à 9 000 km², s'étend au Sud du bassin dans les régions d'Étampes et de Pithiviers et au SW de la Seine, de Rambouillet à Chartres (fig. 13.1). C'est le domaine principal de l'aquifère multicouche de l'Oligocène. En effet, hors de ces limites, donc au Nord et au NE de la Seine, cet aquifère est très localisé en Brie et confiné aux buttes-témoins en Soissonnais-Laonnois. La zone est limitée au Sud par la Forêt d'Orléans, zone de partage des eaux souterraines et de surface entre les bassins de la Seine et de la Loire. Elle est fortement drainée

vers le Nord par la Juine, l'Essonne et le Loing, affluents de la rive gauche de la Seine (fig. 13.1). Au Nord, elle est bordée par le Hurepoix c'est-à-dire essentiellement par le bassin de l'Orge.

13.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU RÉSERVOIR

L'étude lithostratigraphique de l'Oligocène permet d'identifier dans la zone étudiée, **trois formations aquifères**, deux calcaires et une sableuse, séparées par des intercalations plus ou moins importantes de niveaux semi-perméables (fig. 13.2 et tableau 13.1).

TABLEAU 13.1

Description lithostratigraphique sommaire de l'Oligocène

Épaisseur (mètres)	Aquifères	Formations semi-perméables	Chronostratigraphie
4-20 1-15 20-50	<i>Formation multicouche calcaire karstique du Calcaire de Beauce</i> Calcaire de Pithiviers Calcaire d'Étampes	Molasse du Gâtinais	AQUITANIEN
1-70	<i>Formation des Sables de Fontainebleau</i>		STAMPIEN
1-8	Molasse d'Étrechy (région d'Étampes)	Marnes à Huîtres	
2-12	<i>Formation karstique du Calcaire de Brie</i>		SANNOISIEN
1-26		Marnes vertes de Romainville Marnes supragypseuses (Marnes de Pantin et d'Argenteuil)	ÉOCÈNE SUPÉRIEUR

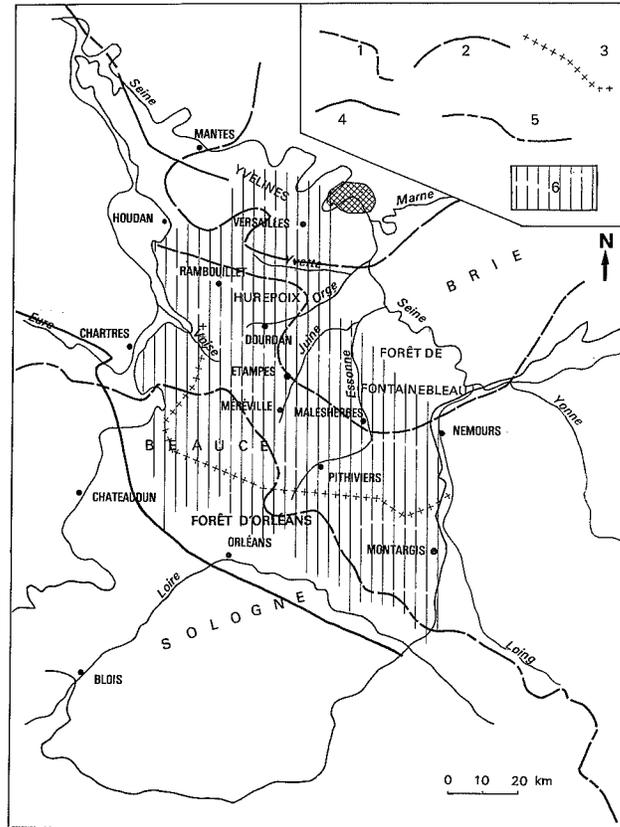


Fig. 13.1. — Aquifère multicouche de l'Oligocène. Géologie et extension des formations du réservoir

1 : limite sud d'extension des Marnes supragypseuses, substratum de l'aquifère complexe (Éocène supérieur) ; 2 : limite sud d'extension des Marnes à Huîtres (base du Stampien) séparant le Calcaire de Brie au-dessous, des Sables de Fontainebleau, au-dessus ; 3 : limite sud d'extension, des Sables de Fontainebleau ; 4 : limite nord d'extension des sables céno-maniens de Touraine ; 5 : limite méridionale du bassin Seine-Normandie ; 6 : localisation de l'aquifère complexe des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie.

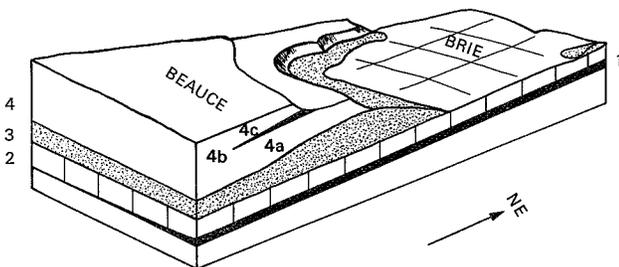


Fig. 13.2. — Bloc diagramme schématique représentant la succession des formations géologiques, constituant le réservoir de l'aquifère multicouche de l'Oligocène.

1 : Marnes vertes supragypseuses (Éocène supérieur) ; 2 : Calcaires de Brie ; 3 : Sables de Fontainebleau (Stampien) ; 4 : Calcaire de Beauce ; 4a : Calcaire d'Étampes ; 4b : Molasse du Gâtinais ; 4c : Calcaires de l'Orléanais.

Le substratum de la formation est très complexe, par suite des transgressions successives. Ainsi le Calcaire de Beauce peut reposer directement sur la Craie. Mais le plus souvent le substratum est constitué de formations détritiques ou résiduelles de faciès et d'épaisseur très variables. Les calcaires de Champigny sont connus dans les bassins de l'Orge, de la Juine et de l'Essonne. Les marnes supragypseuses (Ludien) et les Marnes vertes de Romainville (Sannoisien), base semi-perméable, diminuent progressivement d'épaisseur vers le Sud (26 m à 1 m) et leur limite d'extension méridionale passe approximativement par une ligne Méréville-Nemours (fig. 13.1). Dans l'ensemble le substratum se relève du N.NE vers le S.SW, des altitudes de 100 à 120 m sous la Brie, 80 m sous la Seine et 20 à 40 m au Sud de la Beauce.

EAUX SOUTERRAINES

La formation calcaire karstique du Calcaire de Brie (Sannoisien) est développée en Brie au Nord de la Seine, entre Seine et Marne (fig. 13.3). C'est une formation de calcaires siliceux, lacustres, compacts, fissurés et karstiques. Réduite à

quelques mètres à l'Ouest et au Nord, elle peut atteindre 12 m d'épaisseur en Brie. Elle subit des variations latérales de faciès importantes, calcaires et gypses en Yvelines, meulière en Brie (fig. 13.3).

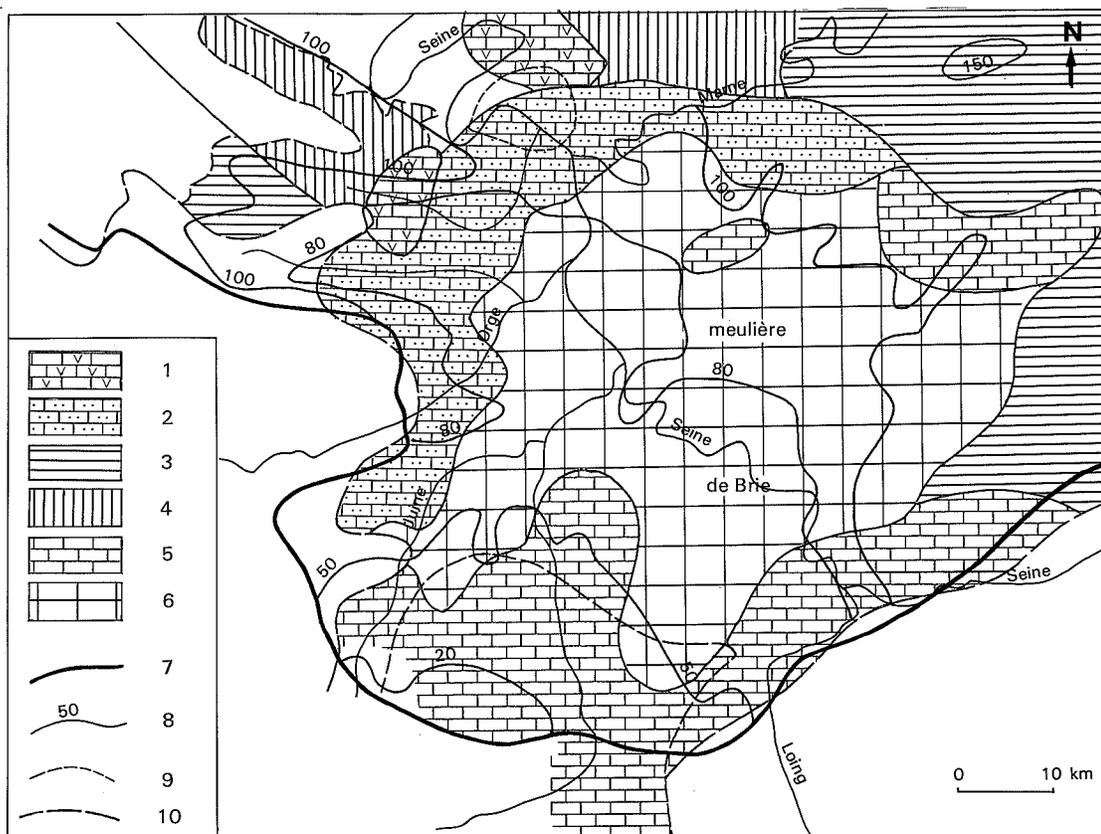


Fig. 13.3. — Formation du Calcaire de Brie. Lithologie du réservoir

1 : calcaires marneux gypseux; 2 : calcaires marneux; 3 : marnes; 4 : argiles; 5 : calcaires; 6 : meulière; 7 : limite d'extension vers le Sud des Marnes supragypseuses; 8 : courbe d'égale altitude du toit de la formation; 9 : limite d'extension de la Molasse du Gâtinais; 10 : limite d'extension du Calcaire de Brie individualisé.

La formation semi-perméable des Marnes à Huîtres (base du Stampien) est développée au Nord de Paris entre Seine et Yvette. Sa puissance est très variable avec un maximum de 8 m. Limitée au Sud elle n'existe pas sous la Beauce, où le Calcaire de Beauce et les Sables de Fontainebleau forment un réservoir unique (fig. 13.1).

La formation des Sables de Fontainebleau (Stampien) est localisée dans la région de Fontainebleau et du Hurepoix (fig. 13.4). Elle est constituée de sables fins ou très fins, bouillants (médiane : 0,12 à 0,16 mm), gréseux au sommet, parfois argileux à la base. C'est un puissant réservoir par son extension et son épaisseur de 50 m en moyenne,

le maximum étant atteint en bordure est de la Beauce (fosse de Pithiviers avec plus de 70 m). La limite d'extension vers le SE passe à proximité de Pithiviers—Nemours (fig. 13.1).

L'importance de cette formation croît du NE vers le SW. En rive droite de la Seine, elle couronne seulement les buttes-témoins oligocènes donnant naissance à de petits aquifères perchés, alors que sur la rive gauche, elle est continue et puissante. Au Sud, plus épaisse, elle s'enfonce sous la Beauce. Dans le NE, avec la région de Rambouillet—Épernon, les Sables de Fontainebleau reposent directement sur les Sables du Soissonnais (Éocène inférieur) ou de la Craie, formant un seul réservoir.

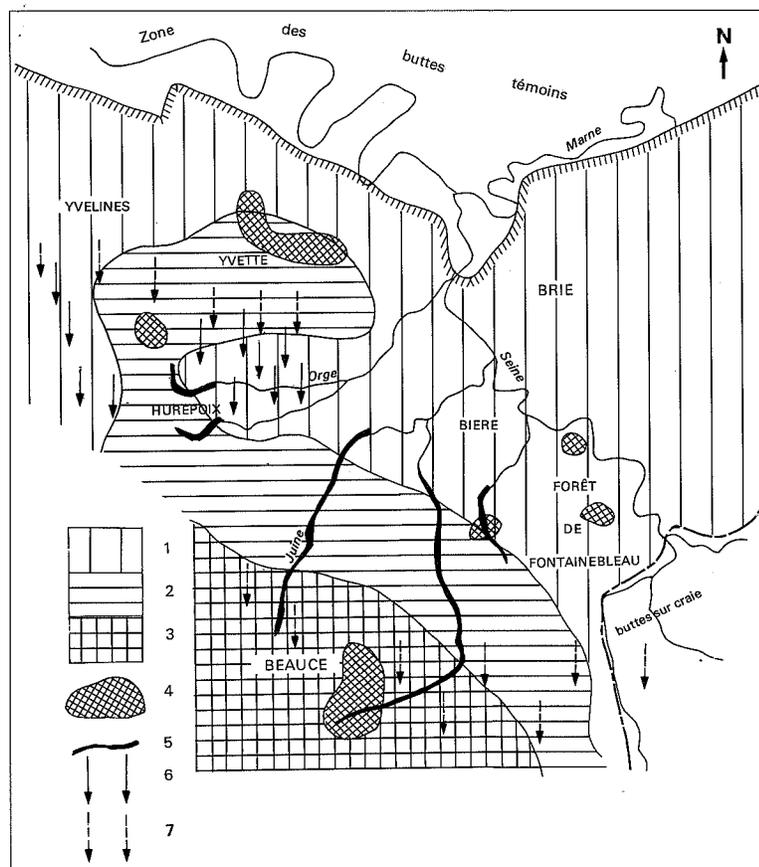


Fig. 13.4. — Aquifère multicouche de l'Oligocène. Ressources en eaux

- 1 : ressources en eau assez importantes ; 2 : ressources en eau importantes ; 3 : ressources en eau très importantes ; 4 : zones de prélèvements importants ; 5 : cours d'eau drainant l'aquifère ; 6 : communications avec la Craie ; 7 : communications avec l'Éocène inférieur et moyen.

La formation multicouche calcaire karstique du calcaire de Beauce est constituée par les différents niveaux qui subissent des variations latérales de faciès fréquentes et importantes. Toutefois elle représente un complexe lithostratigraphique bien individualisé où les intercalations locales semi-perméables comme la Molasse du Gâtinais, n'interrompent pas la continuité hydraulique de l'aquifère multicouche. Le réservoir est constitué par deux formations calcaires, séparées par une assise semi-perméable (tableau 13.1) :

- la formation du **Calcaire d'Étampes** (sommet du Stampien), à la base est constituée de calcaires fissurés, blanchâtres, bien développés dans le SW de la région parisienne. Son épaisseur, de 20 m dans la zone Nogent-le-Roi—Rambouillet, passe à 40-50 m vers Méréville-Malesherbes. Elle se réduit jusqu'à 4 à 20 m de calcaires siliceux altérés (Meulière de Montmorency) dans les buttes-témoins au Nord de la région parisienne.

Celles de l'Est (Montaiguillon, Doue et Lumigny) montrent des calcaires marneux siliceux ;

- la formation semi-perméable de la **Molasse du Gâtinais** (Aquitarien inférieur), localisée en Beauce, est constituée d'argiles plus ou moins sableuses, peu épaisses (1 à 15 m). Par sa faible puissance et son extension limitée cette formation ne constitue pas d'interruption dans l'unité hydrologique du réservoir ;
- la formation du **Calcaire de Pithiviers** ou **Calcaire de l'Orléanais** (Aquitarien supérieur), localisée en Beauce, est constituée de calcaires en bancs plus ou moins réguliers, souvent karstiques, séparés par de minces lits marneux (puissance totale de 4 à 20 m). Ces calcaires forment l'ossature de la surface structurale de la Beauce.

EAUX SOUTERRAINES

13.3. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA FORMATION AQUIFÈRE MULTICOUCHE DES SABLES DE FONTAINEBLEAU ET DU CALCAIRE DE BEAUCE

Cette formation aquifère est bien individualisée par son réservoir unique, puissant, essentiellement sableux à la base et calcaire karstique au sommet. Le Calcaire de Brie ne joue qu'un rôle secondaire et bien localisé.

L'épaisseur totale de la formation augmente du N.NE vers le S.SW, d'une vingtaine de mètres en Brie et au SW de la Seine, jusqu'à une centaine de mètres dans la région SW de l'Île-de-France (Beauce-Yvelines).

La réserve d'eau principale est contenue dans les Sables de Fontainebleau, puissant aquifère avec développement maximal en bordures nord et est de la Beauce, bien alimenté par les eaux du Calcaire de Beauce qui le surmonte.

La formation du Calcaire de Brie dans la zone de lacune des Marnes à Huitres et de développement des Sables de Fontainebleau, constitue un drain naturel de cet aquifère. Cette disposition facilite la réalisation d'ouvrages de captage car il est plus aisé et d'un meilleur rendement de pomper l'eau dans les calcaires fissurés que dans les sables bouillants.

La formation du Calcaire de Pithiviers constitue des aquifères phréatiques perchés locaux, soutenus par la Molasse du Gâtinais, mais qui ne sont pas sans alimenter directement les nappes sous-jacentes.

13.4. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

Le réservoir est hétérogène et les valeurs des caractéristiques hydrogéologiques varient d'un bassin à l'autre (tableau 13.2).

TABLEAU 13.2

Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères de la Beauce

Zone hydrogéologique Aquifère principal	Beauce		Hurepoix		Yvelines		Forêt de Fontainebleau		Brie	
	Lithostratigraphie	K épaisseur	Lithostratigraphie	K épaisseur	Lithostratigraphie	K épaisseur	Lithostratigraphie	K épaisseur	Lithostratigraphie	K épaisseur
Formation du Calcaire de Beauce — Calcaire de Pithiviers	Calcaire siliceux fissuré	TB 4-20								
— Molasse du Gâtinais	Marnes calcaires	0-20								
— Calcaire d'Étampes	Calcaire crayeux fissuré	20-50	Calcaire siliceux fissuré	B 8-15	Calcaire marneux fissuré	B 0-6	Calcaire marneux fissuré	B 0-6		
Formation des Sables de Fontainebleau	Sables fins	B 0-50	Sables fins	B 20-50	Sables fins	B 25-50	Sables fins	B 10-40	Sables fins (buttes)	B 10-20
Marnes à Huitres ou Molasses d'Étrechy	Molasse calcaire fissurée	B 2-3			Marnes	0-5				
Formation du Calcaire de Brie.	Calcaire siliceux fissuré	TB 8-12			Calcaire gypse et marnes	M 0-4	Calcaire siliceux ou marneux	B 8-12	Calcaire meulière et marnes	B 3-12
Marnes vertes supragypseuses	Marnes et marno-calc.	0-15	Argiles	0-10	Argiles ou marnes		Argiles ou marnes	15-20	Argiles ou marnes	20-25

Les valeurs du *coefficient d'emmagasinement* ont été calculées à l'échelle des sous-bassins à partir des exutoires jaugés : Voise, 9 à 10 %; Juine, 15 %; Essonne, 8 à 15 %; Fusain, 1 à 2 % (en nappe semi-captive, 0,6 à 1 %).

Les valeurs des *transmissivités* sont données dans le tableau 13.3.

TABLEAU 13.3

Valeurs des transmissivités en $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Aquifère	Voise	Juine	Essonne	Fusain
Calcaire d'Étampes				
nappe libre	1,4 à 3	0,1 à 5	5 à 10	1 à 5
nappe semi-captive			0,2 à 0,5	0,2 à 0,5
Sables de Fontainebleau	2	0,5	0,1 à 0,8	

13.5. PIÉZOMÉTRIE

Morphologie de la surface piézométrique — Carte piézométrique

La surface piézométrique a été établie à l'aide des relevés de 1966-1968. La carte piézométrique permet de distinguer trois zones hydrogéologiques :

- la **zone des plateaux de Brie et de Bière**. Le réservoir est très étendu, mais assez mince : de 5 à 6 m. La surface piézométrique est très proche du sol dont elle épouse la morphologie. En Brie le niveau piézométrique passe de + 200 à la limite NE à + 80 en Forêt de Sénart. L'exutoire naturel est représenté par des lignes de sources sur les Marnes vertes, dans les nombreuses vallées découpant les plateaux. Le gradient hydraulique moyen est de 0,002;
- la **zone des Yvelines**. Dans les régions de Trappes et de Rambouillet l'aquifère suspendu est fortement drainé par les vallées. Le gradient hydraulique est d'autant plus fort que la vallée est plus basse, 0,008 entre Trappes et la vallée de Chevreuse. Les crêtes piézométriques sont sensiblement superposées aux crêtes topographiques. La profondeur de la surface piézométrique est de 30 à 35 m sous les sommets et très proche de la surface du sol dans les vallées. Le Calcaire de Beauce est toujours dénoyé;
- la **zone de la Beauce**. La surface piézométrique de forme cylindrique montre un écoulement régulier du SW vers le NE. L'aquifère est libre sauf dans la région

orientale (nappe captive sur 890 km²). Les niveaux piézométriques passent d'une valeur maximale de 150 m dans le bassin de la Voise à 60-65 m dans celui de l'Essonne et du Loing. Dans les thalwegs le recouvrement alluvial tourbeux peut provoquer une mise en charge locale (Juine-Essonne).

Fluctuations de la surface piézométrique

Dans la zone de la Brie les variations du niveau piézométrique sont nettes avec un retard négligeable par rapport aux précipitations. En Beauce les fluctuations ont un régime différent, selon deux zones :

- la **zone située sur la crête piézométrique** entre les bassins de la Seine et de la Loire, points situés dans les bassins à l'Est de l'Orge. L'alimentation annuelle a lieu entre 3 et 4 mois après le début des précipitations. Entre juillet 1965 et juin 1969 la fluctuation annuelle moyenne a été comprise entre 3 et 5 m. Les variations annuelles sont plus faibles que dans le bassin versant de la Loire;
- la **zone située dans le bassin de la Voise et dans le haut bassin de l'Essonne**. La surface piézométrique est influencée par les axes de drainage, superficiels ou souterrains (karsts). La recharge annuelle de la nappe s'observe un mois et demi après le début des précipitations.

13.6. SOURCES ET CAPTAGES

Les émergences du Calcaire de Beauce, lorsque les vallées entaillent les niveaux argileux sous-jacents, sont connues mais rares : sources de la Voise, du bassin de l'Essonne, du haut bassin du Fusain. Dans le cas le plus fréquent les sources de la Beauce apparaissent au contact du Calcaire d'Étampes et des Sables de Fontainebleau et au contact Sables de Fontainebleau-Éocène supérieur : vallées de l'Orge et de la Voise. Les cours d'eau sont alimentés essentiellement par les eaux souterraines, au niveau des thalwegs, lorsque le niveau piézométrique est supérieur à la cote topographique. Notons que le bassin d'Aufferville-Larchant (au Nord du Fusain) n'a pas d'exutoire visible.

La granulométrie fine des sables de la formation des Sables de Fontainebleau crée des difficultés pour l'équipement des puits et sondages. Les crépines classiques sont souvent inefficaces, et les ouvrages s'ensablent rapidement. C'est pourquoi les captages sont surtout exécutés, soit dans le Calcaire d'Étampes ou le Calcaire de Beauce au Sud de la ligne d'extension des sables, soit dans le Calcaire de Brie. Les débits obtenus, variables, sont fonction de la présence de circulations karstiques

EAUX SOUTERRAINES

et des réalisations techniques. Les débits spécifiques sont de l'ordre de 20 à 50 m³/h/m en nappe libre (pouvant atteindre 400 m³/h/m en réseau karstique) et généralement inférieurs à 10 m³/h/m en nappe captive (Gâtinais oriental). Lorsque le captage se limite au réservoir du Calcaire de Brie, les débits spécifiques sont inférieurs à 2 m³/h/m.

13.7. PRÉLÈVEMENTS

Les données sur les prélèvements sont rassemblées dans le tableau 13.4.

TABLEAU 13.4

Données sur les prélèvements dans l'aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce

Zone hydrogéologique	Prélèvements connus		Prélèvements totaux estimés (m ³ /j)
	m ³ /an	m ³ /j	
Buttes nord de l'Ile-de-France	4 000	11	500
Yvelines	3 952 850	10 830	15 000
Hurepoix	512 070	1 403	2 500
Brie	1 843 280	5 050	10 000
Bière de Fontainebleau	3 660 220	10 028	12 000
Beauce	6 031 110	16 524	20 000
Totaux	16 003 530	43 846	60 000

En juin 1969 l'exploitation de l'aquifère en Beauce se présentait comme suit (en millions de m³/an) :

alimentation en eau		
potable	4,06	155 captages
industries permanentes et		
élevage	1,63	27 captages
industries temporaires	0,96	8 captages
irrigation	3,4 à 10,2	152 captages
soit un total de 17 000 000 de m ³ /an pour 342 captages ou 0,5 m ³ /s environ.		

13.8. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

La composition chimique des eaux souterraines de la formation aquifère multicouche permet de distinguer quatre provinces hydrochimiques (tableau 13.5 et fig. 13.5) :

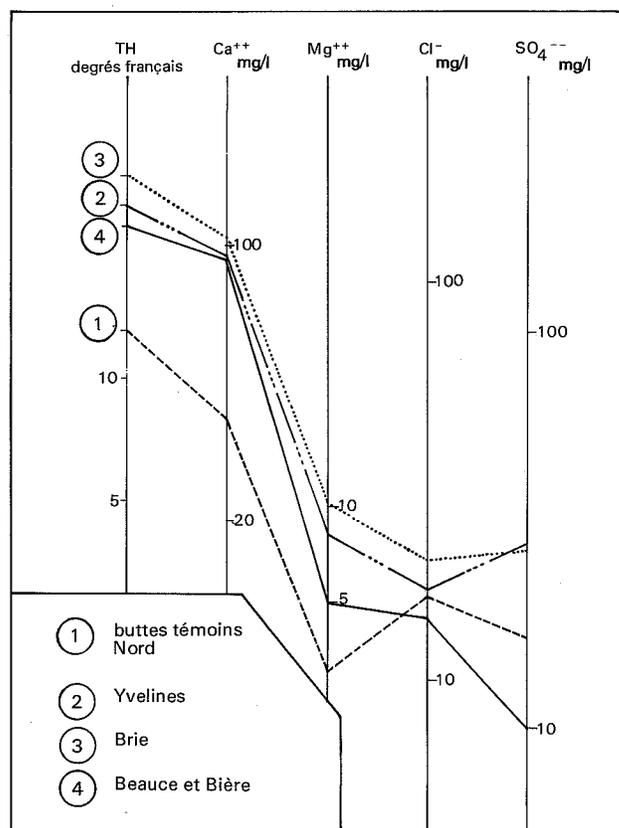


Fig. 13.5. — Diagrammes d'analyses d'eau de l'Oligocène

— la province de la Beauce où les eaux, de faible minéralisation (teneurs faibles en sulfates), sont caractérisées par la grande stabilité verticale et géographique de la composition chimique, malgré la diversité des réservoirs. Ceci montre que les intercommunications entre sables et calcaires aboutissant au mélange des eaux sont très développées.

Les résistivités de l'eau sont comprises entre 2 000 et 3 000 ohm.cm. Les émergences des Sables de Fontainebleau au niveau des thalwegs donnent des eaux plus minéralisées lorsqu'elles sont situées à l'intérieur ou légèrement en aval des agglomérations (1 000 ohm.cm).

Le degré hydrotimétrique, dans le bassin de la Voise, varie de 30 à 40 degrés français, alors que dans les autres bassins il est compris entre 15 et 25 degrés français.

La teneur en sels dissous est en mg/l : Calcium, 80 à 100; Magnésium, inférieure à 10; chlorures de 10 à 20 et sulfates inférieure à 6;

— la province de la Brie au N.NE où les eaux souterraines sont les plus minéralisées, tout

AQUIFÈRE DE L'OLIGOCÈNE

en restant dans les normes de potabilité. Ceci est dû à la faible vitesse d'écoulement, à la proximité du sol dans des régions d'intenses cultures (engrais) et à l'intensité de l'évapotranspiration en terre arable;

- la province des Yvelines-Hurepoix au N.NW; la minéralisation approche celle observée en Brie;
- la province des buttes tertiaires au N.NW et N.NE, à minéralisation très faible.

TABLEAU 13.5

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère multicouche des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Beauce. Provinces hydrochimiques

Provinces hydrochimiques	Nombre d'analyses	Résistivité moyenne ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l				
				Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Buttes nord de l'Ile-de-France	13	5 378	11	15	15	30	3	0,06
Yvelines	32	1 963	27	16	30	98	8	0,05
Brie	36	1 740	34	20	29	110	10	0
Beauce et Bière	82	2 201	24	13	8	92	5	0

AQUIFÈRE DES ALLUVIONS

14.1. CADRE GÉNÉRAL

Les formations d'alluvions, bien développées dans les vallées surtout dans celles des grands cours d'eau, constituent de très bons aquifères libres, rarement captifs, tant par leurs caractéristiques hydrogéologiques que par leur forte alimentation.

En communication étroite avec les eaux de surface qu'en général ils alimentent, ils constituent souvent des aquifères complexes avec les formations sous-jacentes et latérales. L'exemple le plus typique est la superposition alluvions-Craie.

14.2. DESCRIPTION SOMMAIRE DES FORMATIONS ALLUVIALES

Dans le cours moyen de la Seine, l'alternance des phases de creusement et de remblaiement a donné naissance à quatre ensembles de terrasses

principales. Les plus hautes correspondent à la fin du Pliocène ou au début du Quaternaire et les plus basses, datant de la dernière glaciation, se relient aux alluvions modernes et subactuelles (fig. 14.1).

La chronologie complexe des terrasses alluviales est diversement interprétée suivant les écoles géologiques. Du point de vue hydrogéologique il est possible de distinguer cinq formations (MÉGNIEU, 1970) :

- la *très haute terrasse* de 80-100 m, la plus ancienne (Pliocène), reconnue dans la région de Rouen et signalée au-dessus de l'Yerres, en Forêt de Rosny et dans la vallée de l'Yonne (Est d'Auxerre). Elle est constituée de sables siliceux, de cailloux siliceux roulés et d'argile;
- la *haute terrasse* de 55 m environ, d'une épaisseur de 10 à 15 m, formée de cailloutis roulés de roches granitiques, de quartz, de silex crétacés, de chailles et de calcaires.

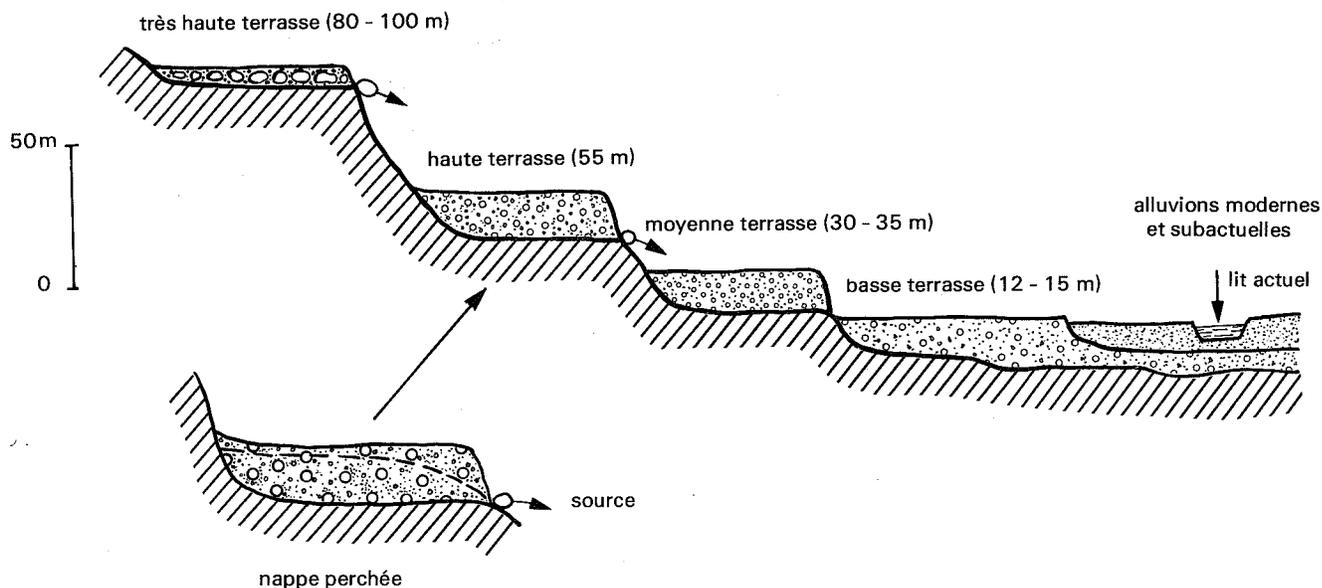


Fig. 14.1. — Coupe transversale idéale schématique d'une vallée montrant la position des formations alluviales. Schéma d'une nappe perchée

Plus fréquente que la précédente elle s'est déposée au Quaternaire ancien. En aval de Paris elle est conservée à Puteaux, dans la forêt de Saint-Germain et à Mantes. Elle couvre la surface structurale de la Brie, en particulier en Forêt de Sénart;

- la *moyenne terrasse* de 30-35 m, épaisse de 15 à 18 m, est largement représentée dans tous les méandres de la Seine et de ses affluents. Elle s'est constituée au Quaternaire moyen;
- la *basse terrasse* de 12-15 m, la plus récente, domine de quelques mètres seulement les alluvions modernes. Elle se prolonge souvent, en profondeur, constituant le remplissage de la vallée jusqu'au substratum. C'est la plus importante par son épaisseur et son extension. Présente dans toutes les vallées de la Seine et de ses affluents, elle est fréquemment recouverte par les alluvions modernes.

La formation est constituée de dépôts à granulométrie hétérogène, de sables, de galets et de graviers en proportions variables. La stratification est irrégulière, entrecroisée, et souvent avec des intercalations de lits grossiers surtout vers la base. C'est le type d'aquifère à couche conductrice privilégiée.

Les alluvions de la Seine, essentiellement calcaires et siliceuses, présentent des variations de composition pétrographique de l'amont vers l'aval. Les éléments, surtout calcaires dans le cours supérieur jusqu'à Montereau, s'enrichissent ensuite en matériaux siliceux et granitiques. Dans la Basse-Seine l'alluvionnement devient plus fin.

L'épaisseur des alluvions, variable, a tendance à augmenter vers le lit actuel où elle atteint parfois une quinzaine de mètres;

- les *alluvions modernes et subactuelles*, occupant approximativement les zones basses, inondées lors des grandes crues, ont une grande extension. Ce sont des dépôts fins, avec lentilles sableuses (95 % des grains inférieurs à 0,5 mm dont 50 % inférieurs à 0,2 mm), de perméabilité médiocre. Elles occupent le lit de tous les cours d'eau et peuvent s'étendre, de part et d'autre de la Seine, sur 100 à 500 m. Leur épaisseur, variable, peut atteindre une dizaine de mètres. Souvent leurs niveaux superficiels, de texture fine et peu perméables, constituent le toit d'aquifères alluviaux captifs. Par contre en profondeur elles remanient fréquemment les dépôts de la basse terrasse, donnant au contact des couches plus grossières.

Le seul réservoir aquifère valable est constitué par la basse terrasse, associée parfois aux alluvions modernes et à la formation du substratum.

14.3. STRUCTURE HYDROGÉOLOGIQUE. RELATIONS ALLUVIONS-AQUIFÈRE DU SUBSTRATUM ET COMMUNICATIONS RIVIÈRE-NAPPE

L'élément structural essentiel du réservoir alluvial est le substratum, lequel intervient par sa lithologie et sa géomorphologie.

Selon que le substratum est constitué de formations aquifères ou imperméables, le comportement hydrologique des alluvions est très différent (fig. 14.2).

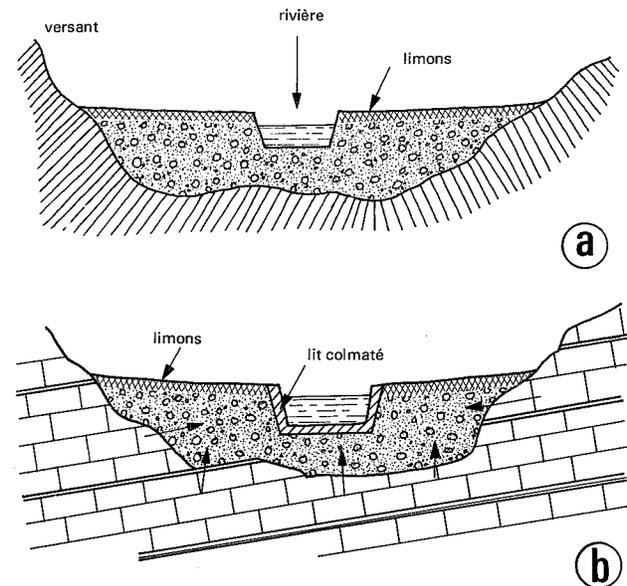


Fig. 14.2. — Structure hydrogéologique des alluvions et lithologie du substratum

a : substratum constitué de formations imperméables. Aquifère des alluvions isolé; b : substratum constitué de formations aquifères. Aquifère multicouche alluvions-aquifère du substratum.

Les rives et le fond de la rivière peuvent être libres (a) ou colmatés (b).

Le substratum des alluvions, en position sous-jacente et latérale, constitue une surface morphologique ancienne, façonnée par l'érosion du cours d'eau dont les lits successifs ont divagué. Cette surface morphologique, très irrégulière, avec dépressions et bosses, provoque des variations rapides et importantes de puissance (donc de transmissivité,

EAUX SOUTERRAINES

$T = KH$) dans l'aquifère (fig. 14.3). C'est pourquoi la prospection des eaux souterraines dans les alluvions exige des reconnaissances détaillées par prospection géophysique et forages.

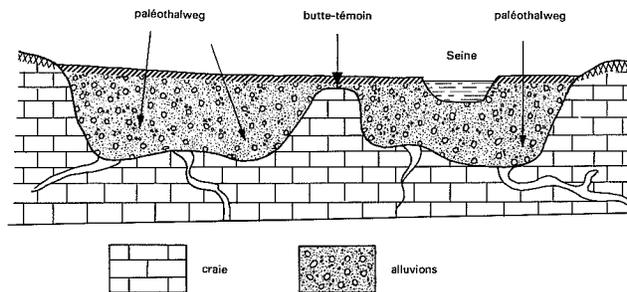


Fig. 14.3. — Schéma montrant la géomorphologie du substratum de Craie dans la vallée de la Seine. Aquifère multicouche alluvions-Craie.

La lithologie et la position du substratum, cette dernière étant liée au degré de creusement actuel du cours d'eau, règlent les relations hydrologiques entre l'aquifère des alluvions et les eaux de surface, donc son alimentation ou son drainage.

La lithologie du substratum permet de distinguer deux grands types de structures avec la formation alluviale, soit en remplissage isolé dans une dépression de terrains imperméables, soit constituant avec les assises encaissantes un aquifère multicouche (fig. 14.2).

La position du substratum imperméable par rapport au niveau de l'eau dans la rivière détermine trois types de communications (fig. 14.4) :

— **communications libres.** Le lit du cours d'eau est creusé entièrement dans l'aquifère (fig. 14.4 a). Il peut atteindre le sommet du

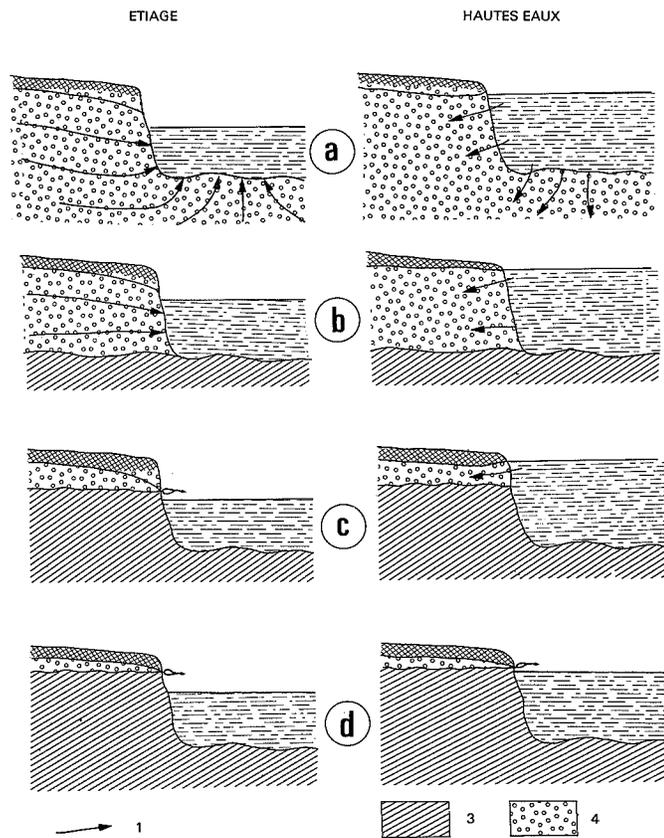


Fig. 14.4. — Position du substratum et communications rivière-aquifère des alluvions

A gauche, communications en période d'étiage ou de basses eaux. A droite, communications en période de crue. a : communications libres par les rives et par le fond; b : communications libres par les rives; c : communications périodiques; d : communications nulles.

1 : sens des communications. 3 : substratum imperméable. 4 : aquifère.

substratum (fig. 14.4 b). Les relations sont libres quel que soit le niveau d'eau dans le cours d'eau. Dans le premier cas, *l'aquifère est dit soutenu*. Ce type de communications est le plus fréquent. Les relations aquifère-rivière s'effectuent par les rives et le fond du lit ou par les rives seulement.

Les conditions favorables à ce type hydrologique sont les cônes de déjection aboutissant dans les vallées, les plaines alluviales convexes et les lits fossiles. Il est fréquent dans les karsts du Jurassique par suite de l'importance de l'alimentation souterraine;

- **communications périodiques.** Le lit entaillant la totalité des alluvions et pénétrant dans le substratum, dont le *toit est plus bas* que la cote maximale de l'eau de la rivière, ne permet de relations directes qu'en période de crue (fig. 14.4 c);
- **communications nulles.** Le lit encaissé dans le substratum, dont le *toit est plus élevé* que la cote maximale de l'eau de la rivière, ne permet aucune communication (fig. 14.4 d).

14.4. HYDROGÉOLOGIE PRINCIPAUX AQUIFÈRES

Il est possible de distinguer deux types d'aquifères localisés dans les différentes terrasses :

- les aquifères des haute et moyenne terrasses;
- l'aquifère de la basse terrasse et du complexe alluvions-substratum perméable, de loin le plus important par ses ressources en eaux souterraines.

Aquifères des haute et moyenne terrasses

Les formations des haute et moyenne terrasses donnent des **aquifères perchés** (fig. 14.1) dont les ressources en eaux souterraines sont très limitées. Dans la majorité des cas l'eau d'infiltration les traverse pour alimenter les aquifères sous-jacents.

Aquifères de la basse terrasse et du complexe alluvions-substratum perméable

L'aquifère principal est constitué par les formations de la basse terrasse fréquemment renforcées par le substratum de roche-réservoir aquifère puissante dont il est rarement isolé. C'est alors qu'apparaissent des **aquifères complexes** très favorables par leurs caractéristiques hydrogéologiques à l'exploitation intensive des eaux souterraines :

- aquifère soutenu par le niveau de l'eau dans la rivière;
- drainage du réservoir encaissant par les alluvions de forte perméabilité ou transmissivité;

- régulation du débit par la capacité d'emmagasinement élevée des alluvions, avec coefficient d'emmagasinement de 8 à 10 % et plus;
- relai en cas de surexploitation, par les eaux de surface, le sens du courant souterrain en général orienté vers la rivière étant inversé et provoquant une *réalimentation induite* (fig. 14.5).

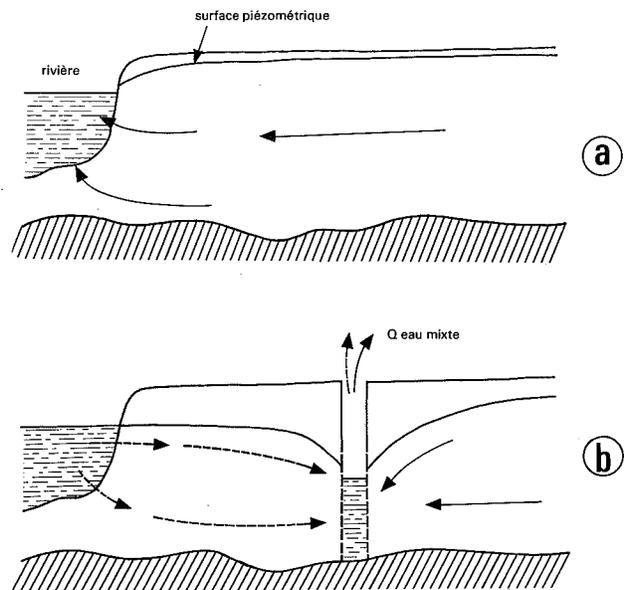


Fig. 14.5. — Schéma de la réalimentation induite

a : avant l'exploitation les eaux souterraines de l'aquifère des alluvions s'écoulent vers la rivière ; b : la surexploitation provoque un appel des eaux de la rivière qui alimentent le puits. Entre le captage et le cours d'eau le sens de l'écoulement souterrain est inversé. L'eau pompée est un mélange des eaux souterraines naturelles et des eaux de surface ayant transité par l'aquifère.

14.5. AQUIFÈRES COMPLEXES ALLUVIONS-SUBSTRATUM PERMÉABLE

Les principaux aquifères complexes alluvions-substratum perméable sont dans l'ordre d'intérêt décroissant quant à la richesse en eaux souterraines :

- l'aquifère complexe alluvions-Craie;
- l'aquifère complexe alluvions-aquifères du Tertiaire;
- l'aquifère complexe alluvions-karst du Jurassique.

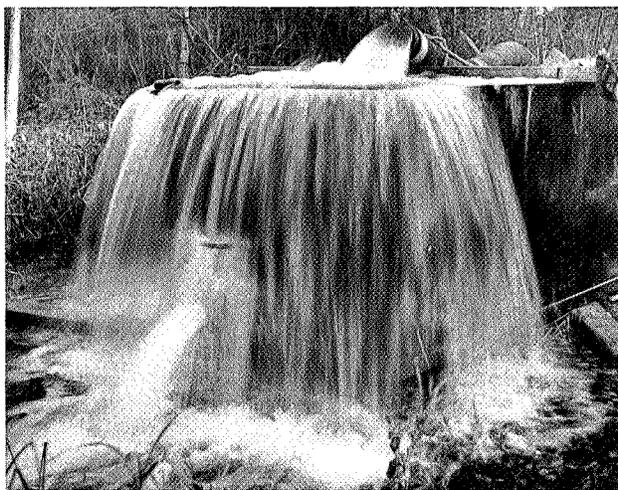
Aquifère complexe alluvions-Craie

Il a été montré que le réservoir de la Craie présentait son maximum de perméabilité sous les vallées. Cette caractéristique, favorable à l'existence d'un aquifère important, est encore renforcée d'une part par la perméabilité élevée des alluvions jouant le rôle de drain et d'autre part par les échanges

EAUX SOUTERRAINES

nappe-rivière. L'aquifère complexe alluvions-Craie existe pratiquement dans toutes les régions où le réservoir de la Craie affleure dans les vallées.

Hautes vallées de la Seine et de ses affluents de Troyes à Montereau. Cette zone est constituée par la Haute-Seine de Troyes au confluent de l'Yonne, en particulier le Val de Seine, de Nogent-sur-Seine à Montereau, la basse vallée de l'Aube, la basse vallée de l'Yonne, le haut et bas Loing et son affluent de la rive droite l'Ouanne. Tous ces cours d'eau convergent vers Montereau (fig. 14.6).



(Photo B.R.G.M.)

Fig. 14.6. — Puits de captage dans la vallée de la Seine à l'amont de Montereau

Type de formation alluviale à grande perméabilité, servant de drain à la nappe de la Craie du Sénonien, et alimentée en hautes eaux par des infiltrations de la Seine. Le puits représenté fait partie d'une série de puits de captages. La photo représente la fin d'un essai de pompage au débit de 400 m³/h.

Les vallées du Loing, du Lunain et de l'Ouanne drainent la nappe avec développement des circulations karstiques dans la Craie.

Dans la vallée de l'Yonne, l'écoulement souterrain s'effectue vers la rivière avec une composante aval. Les eaux souterraines du val de l'Yonne rejoignent celles du val de Seine quelques kilomètres avant la confluence de ces deux rivières.

Dans la vallée de la Seine on observe une différence de gradient hydraulique dans l'aquifère multicouche, 0,006 dans la Craie contre 0,0005 à 0,002 dans les alluvions, traduisant des différences de perméabilité des deux réservoirs. L'écoulement souterrain recoupe parfois les méandres.

Dans la zone hydrogéologique étudiée, le contact entre la base des alluvions et la Craie érodée a la forme d'une auge allongée correspondant sensiblement à l'extension des alluvions de la basse

terrasse de 15 m et légèrement inclinée de l'amont vers l'aval. La remontée rapide de la Craie sur les versants donne un profil transversal en auge très aplatie (fig. 14.3). Dans le détail le substratum présente comme à l'habitude, des creux ou paléothalwegs et des bosses ou monticules. Les paléothalwegs, dus à des surcreusements très actifs représentent un véritable réseau hydrographique fossilisé par les alluvions avec une orientation subparallèle à l'axe de la vallée et collecteurs secondaires. Les bosses, témoins de la surface primitive épargnés par l'érosion et finalement recouverts de dépôts alluviaux, sont en général de forme allongée souvent dissymétrique, à axe NE-SW, direction structurale majeure de la Craie. Le fait qu'elles soient recouvertes de lambeaux de la terrasse de 15 m prouve l'importance du creusement récent, postérieur à leur formation.

Les variations de profondeur de la surface de la Craie, soubassement des alluvions, entraînent des différences d'épaisseurs dans l'aquifère des alluvions. Les paléothalwegs, zones préférentielles de drainage, et le maximum d'épaisseur (donc de transmissivité) sont très favorables à l'implantation de captages.

Vallée de la Seine à l'aval de Paris. La Craie apparaît dans les méandres de Boulogne, de Croissy, dans les zones d'Aubergenville, de Saint-Germain-en-Laye (rive gauche, Le Pecq), la boucle de Poissy, la plaine de Meulan—Mantes-la-Jolie, dans la boucle de Rolleboise-Moisson, La Roche-Guyon et la Basse-Seine jusqu'à Rouen. A l'aval, on note une tendance générale à l'augmentation de la teneur en chlore (invasion des eaux salées marines). Dans les méandres, la plaine alluviale atteint une largeur importante (1 à 3 kilomètres à Boulogne et Croissy par exemple). Les secteurs concaves s'étalent largement alors que les rives convexes viennent butter contre les falaises de Craie.

Dans la région à l'ouest de Paris la perméabilité des alluvions est très irrégulière et les puits et sondages captent les eaux de l'aquifère dans la Craie :

- *vallée moyenne de la Marne* de Vitry-le-François à Épernay;
- *haute vallée de l'Aisne* et ses affluents la Vesle et la Suippe;
- *haute et moyenne vallées de l'Oise.* Dans la zone de Beaumont l'alimentation naturelle est surtout importante sur la rive droite de l'Oise, toute la masse de Craie alimentant les alluvions.

Aquifère complexe alluvions-réservoirs du Tertiaire

Dans la région parisienne, les alluvions sont fréquemment en communication hydraulique avec les trois principaux réservoirs encaissant du Tertiaire. Ainsi elles constituent des aquifères complexes.



(Photo A. Perceval)

Fig. 14.7. — Les nappes alluviales dans la Basse-Seine près de Château-Gaillard

Alluvions de basse terrasse et alluvions modernes, avec carrières de sables et graviers intensément exploitées. La vallée est encaissée dans la Craie de Normandie (Crétacé inférieur) qui constitue avec les alluvions un aquifère complexe exploité suivant les endroits par des forages dans les alluvions ou dans la Craie.

Aquifère complexe alluvions-Calcaire grossier

Dans la vallée de la Seine, en particulier à la traversée de Paris, les formations de l'Éocène inférieur et moyen sont recouvertes par les alluvions, sur des surfaces importantes. Dans Paris l'aquifère complexe, comprenant plus de 10 m d'alluvions et de Calcaire grossier, constitue une ressource non négligeable assurant un relais avec les eaux de la Seine. En effet, bien que le lit du fleuve soit recouvert de vase, le niveau piézométrique des alluvions est influencé par les variations du niveau d'eau de surface, même dans Paris. Cet aquifère complexe est connu également dans la Basse-Marne au confluent avec la Seine, et dans la Seine à l'aval de Paris, de

Saint-Germain-en-Laye (rive droite) à Maisons-Laffite—Conflans, aux Mureaux et dans la Basse-Oise.

Aquifère complexe alluvions-Calcaire de Champigny

La formation complexe du Calcaire de Champigny est profondément entaillée par la vallée de la Seine, du confluent de l'Yonne (Montereau) à l'aval de Paris à Saint-Germain et dans la basse vallée du Loing. Dans la basse vallée de la Marne et de ses affluents, l'aquifère des Sables de Beauchamp est souvent en charge sous les alluvions tourbeuses récentes.

EAUX SOUTERRAINES

Aquifère complexe alluvions-Sables de Fontainebleau et Calcaire de Beauce

Il est localisé essentiellement dans la vallée de la Seine, du confluent de l'Yonne à celui de la Marne. Il est connu également dans les vallées de l'Essonne et de la Juine avec localisation des cressonnières où la nappe est localement en charge sous la tourbe alluviale. Dans la Remarde et le haut cours de l'Orge, les alluvions jouent un rôle régulateur du débit.

14.6. PIÉZOMÉTRIE

Les nombreuses mesures de niveaux piézométriques dans l'aquifère des alluvions permettent de dresser des cartes piézométriques détaillées et précises. En général la surface piézométrique est unique pour l'aquifère complexe alluvions-substratum. Parfois comme dans la moyenne vallée de la Seine, des différences de gradient hydraulique traduisent des variations de perméabilité entre les deux réservoirs.

L'étude de la morphologie et des fluctuations de la surface piézométrique permet de déterminer les relations hydrologiques rivière-aquifère.

La surface piézométrique est peu profonde, 2 m en moyenne sous le sol dont elle atteint même la surface dans les zones marécageuses.

La surface piézométrique subit des fluctuations mensuelles et annuelles en relation étroite avec celles des précipitations. Sa cote la plus basse est soutenue par l'étiage de la rivière, niveau de base de l'écoulement souterrain. Il en résulte qu'en moyenne dans le centre de la plaine alluviale, la surface piézométrique descend rarement en été au-dessous de 3 m de profondeur. En hiver elle remonte sous l'influence de l'alimentation naturelle tout en se maintenant presque toujours au-dessus de la cote des eaux du fleuve. Le débit souterrain persiste jusqu'aux hautes eaux, période au cours de laquelle il y a inversion du sens de l'écoulement. L'abaissement du niveau de l'eau dans le fleuve, après la crue, entraîne celui de la surface piézométrique avec un retard d'autant plus important qu'on s'éloigne du lit, pouvant atteindre deux mois au maximum.

14.7. RELATIONS HYDRAULIQUES ENTRE L'AQUIFÈRE DES ALLUVIONS ET LA RIVIÈRE

Généralités

L'écoulement des eaux souterraines dans l'aquifère des alluvions peut s'effectuer dans trois directions traduites par la pente de la surface piézométrique (fig. 14.8) :

- écoulement souterrain vers la rivière avec **drainage de l'aquifère** par le cours d'eau (fig. 14.8 a);
- écoulement souterrain de la rivière vers la nappe avec **alimentation de l'aquifère** par le cours d'eau (fig. 14.8 b);
- écoulement souterrain parallèle **au cours d'eau**; cas exceptionnel (fig. 14.8 c).

Écoulement souterrain vers la rivière. Drainage

En général dans le bassin de la Seine l'écoulement souterrain est dirigé vers le cours d'eau qu'il alimente (fig. 14.8 a). La pente de la surface piézométrique est orientée vers le lit. Le niveau piézométrique est au-dessus du plan d'eau de surface exception faite des périodes de crues. La rivière draine l'aquifère dont les formations affleurent dans les vallées et joue le rôle de collecteur. Le débit d'étiage provient en totalité du débit souterrain d'où l'importance des données de jaugeage pour l'estimation des ressources en eaux souterraines. Le drainage, démontré par la piézométrie, est confirmé par l'observation des grandes sablières reliées par un goulot à la Seine où lors des grandes crues on observe des tourbillons d'eau claire se mélangeant à l'eau limoneuse du fleuve.

Ainsi pour les cours d'eau dont le bassin se développe dans les formations du Tertiaire, le débit d'étiage est essentiellement constitué par l'écoulement des aquifères. En Beauce les vallées, notamment celles de la Juine et de l'Essonne, constituent l'exutoire principal de l'aquifère du Calcaire de Beauce. Dans la seule vallée de l'Essonne, en amont de la confluence avec la Juine, on a inventorié plus d'une centaine de sources ou groupes de sources, la plupart alimentant des cressonnières. C'est pourquoi l'Essonne a un régime très régulier (étiage inférieur à 2 m³/s seulement 10 jours par an en moyenne). En certains points même, le drainage par la Seine, vers le Nord, provoque un écoulement souterrain de sens opposé au pendage des couches, lesquelles plongent au Sud vers la Beauce.

Écoulement de la rivière vers l'aquifère. Alimentation

L'aquifère est alimenté par le cours d'eau lorsque la pente de la surface piézométrique est orientée vers les coteaux (fig. 14.8 b). En général ce type est réalisé seulement en période de crue. Il peut être créé artificiellement par surexploitation des eaux souterraines, cas de la Seine à hauteur de la dépression piézométrique de Saint-Denis.

Cependant si dans l'ensemble l'écoulement souterrain de l'aquifère des alluvions s'effectue vers le cours d'eau, localement dans le détail les cartes piézométriques montrent un mécanisme plus compliqué. Une rivière peut, selon la position de

AQUIFÈRE DES ALLUVIONS

la surface piézométrique, alimenter ou drainer l'aquifère dans certaines portions de son lit, comme l'Aubetin, l'Yerres, l'Almont et dans une plus faible mesure la plupart des rivières de l'Ile-de-France. Dans certains secteurs, comme dans Paris pour l'aquifère des Sables du Soissonnais, les relations étudiées à l'aide de piézomètres et de limnigraphes, fonctionnant depuis 1964, sont différentes selon la rive considérée. Au Nord de la limite d'extension des Sables du Soissonnais et à proximité de la Seine il est possible d'établir des corrélations entre les niveaux piézométriques et les cotes de l'eau du fleuve. On observe un décalage des périodes de crues et d'étiages (quelques heures à 100 m du fleuve, quelques jours à 1 000 m). Lorsqu'on s'éloigne du lit, l'amplitude des variations diminue plus ou moins rapidement selon les caractéristiques de l'aquifère (fig. 14.8). Sur la rive droite, où l'écoulement souterrain est dirigé de la rivière vers l'aquifère, les données du tableau 14.1 ont été relevées.

TABLEAU 14.1

Données sur les relations nappe-rivière sur la rive droite de la Seine, dans Paris

Distance à la rive (mètres)	Amplitude des variations (m/an)	Aquifère
Seine 0	3	Calcaire grossier
Hôtel de Ville 21	2,44	
Place Saint-Gervais 112	1,36	
Avenue de Wagram 1 350	1,50	Sables du Soissonnais

Sur la rive gauche de la Seine, à la Défense, l'écoulement souterrain s'effectue de l'aquifère vers le fleuve, lequel joue le rôle de niveau de base (tableau 14.2).

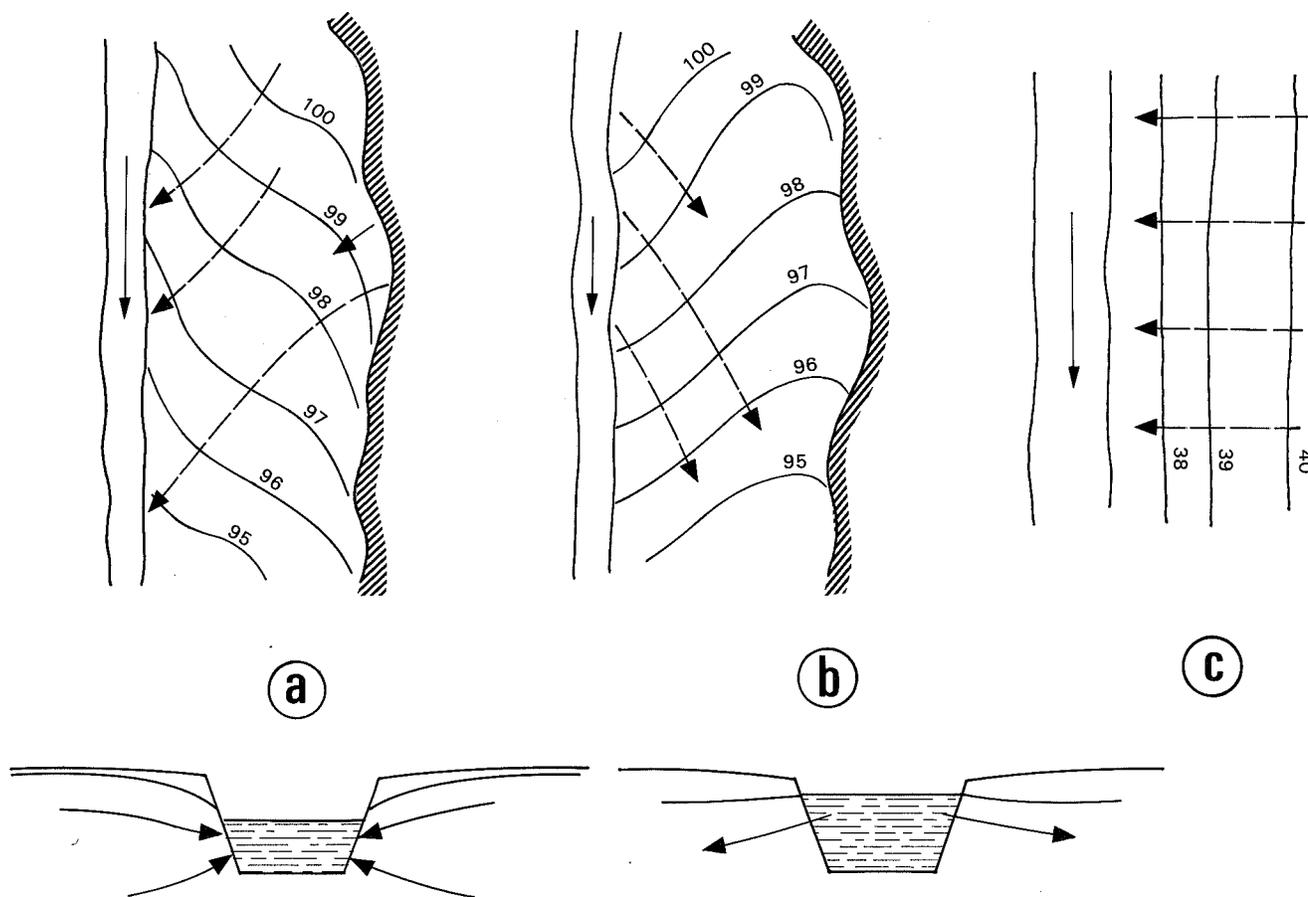


Fig. 14.8. — Relations hydrauliques entre les alluvions et la rivière

En haut, surface piézométrique; en bas, coupe schématique. a : écoulement souterrain vers la rivière avec drainage de l'aquifère; b : écoulement souterrain de la rivière vers la nappe avec alimentation de l'aquifère par le cours d'eau; c : écoulement souterrain parallèle au cours d'eau.

EAUX SOUTERRAINES

TABLEAU 14.2

Données sur les relations nappe-rivière sur la rive gauche de la Seine à la Défense

Distance de la rive (mètres)	Amplitude des variations (m/an)	Aquifère
Seine 0	2,92	Sables
Défense 100	2,50	du Soissonnais
500 à 800	1,50	Calcaire
1 300 à 1 500	1,50	grossier

Lorsqu'une portion de cours, ou de méandre, présente une direction oblique par rapport à celle de l'écoulement souterrain, la rive amont draine et celle d'aval alimente l'aquifère. Aux emplacements de barrages les zones amont sont fortement alimentées et les secteurs aval drainés.

D'une manière quasi générale, il semble qu'il existe en bordure de la Seine une zone plus perméable pouvant être imputée à un lavage des sables et graviers par les variations rapides de niveaux dues aux éclusées. Cette observation montre que les berges de la Seine sont peu, ou pas, colmatées.

14.8. QUALITÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Elles sont très variables selon l'origine de l'alimentation :

- eaux d'excellente qualité, par **alimentation directe sur l'impluvium propre**, cas rare;
- eaux dont la qualité est fortement influencée par les eaux souterraines profondes dans les **aquifères multicouches alluvions-substratum**;
- pollution par les eaux de surface dans les **aquifères alimentés par les cours d'eau**.

Le tableau 14.3 et la figure 14.9 donnent les renseignements sur la qualité moyenne de quelques eaux des alluvions.

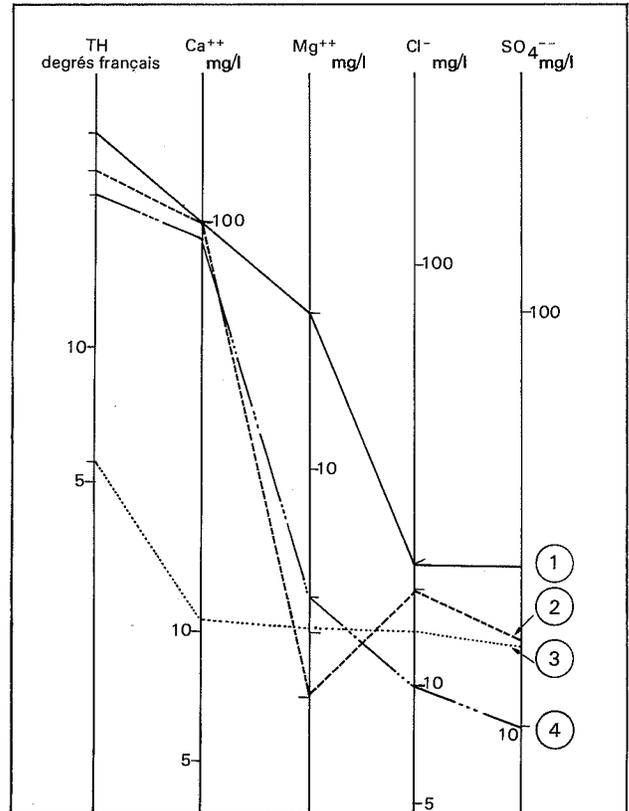


Fig. 14.9. — Diagrammes des analyses chimiques des eaux de l'aquifère multicouche des alluvions

1 : Aquifère complexe alluvions-Calcaire de Champigny (Brie); 2 : aquifère multicouche alluvion-Craie (Val de Seine); 3 : aquifère des alluvions de la vallée de la Cure à Saulieu; 4 : aquifère des alluvions à Noirons-sur-Seine.

TABLEAU 14.3

Caractéristiques physiques et chimiques des eaux de l'aquifère des alluvions

Zones hydrogéologiques	Substratum	Nombre d'analyses	Résistivité moyenne ohm.cm à 20 °C	TH degré français	Concentration en mg/l				
					Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Brie	Calcaire de Champigny	5	1 735	36	18	24	99	33	0,12
Vallée de la Seine (amont de l'Orge)	Calcaire de Champigny	2	1 360	37	28	104	137	16	0,01
Val de Seine amont	Craie	53	2 054	28,5	15,5	15,5	100	2,5	
Noiron-sur-Seine			2 280	24,5	8,8	8	90	4,8	
Saulieu (Cure)			12 000	4	11,7	14	7	4	0,4

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

15.1. RÉGIME DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN SÉDIMENTAIRE DE PARIS

Les études hydrogéologiques récentes, exécutées dans le bassin de Paris, ont abouti à une conception plus précise du régime des eaux souterraines. Celle-ci est conforme aux résultats obtenus dans les bassins sédimentaires où les connaissances marquent un degré d'avancement comparable. Les principaux aquifères multicouches ont été représentés sur la figure 15.1. Ils ont été désignés sous le vocable de « multicouche ».

Il est possible de distinguer, en fonction de la profondeur, trois zones de régimes caractéristiques des eaux souterraines :

- zone des eaux souterraines libres;
- zone des eaux souterraines de subsurface;
- zone des eaux souterraines profondes.

Zone des eaux souterraines libres

La zone des eaux souterraines libres (aquifères libres ou phréatiques), de la surface du sol à quelques dizaines de mètres de profondeur, est caractérisée par des relations directes avec les eaux de surface : précipitations, écoulement de surface (réseau hydrographique), surfaces d'eau libre (lacs, étangs). Les interactions avec l'air et le milieu biologique y sont actives. C'est la zone des échanges où les eaux souterraines acquièrent leurs caractéristiques hydrogéochimiques de base (y compris la pollution) ainsi que le milieu privilégié de l'activité biologique, donc de l'épuration bactériologique.

Les eaux souterraines libres sont localisées principalement dans les vallées avec les aquifères complexes alluvions-substratum, sous les plateaux de Beauce et de Brie et dans les régions d'affleurements de la Craie et des calcaires karstiques du Jurassique.

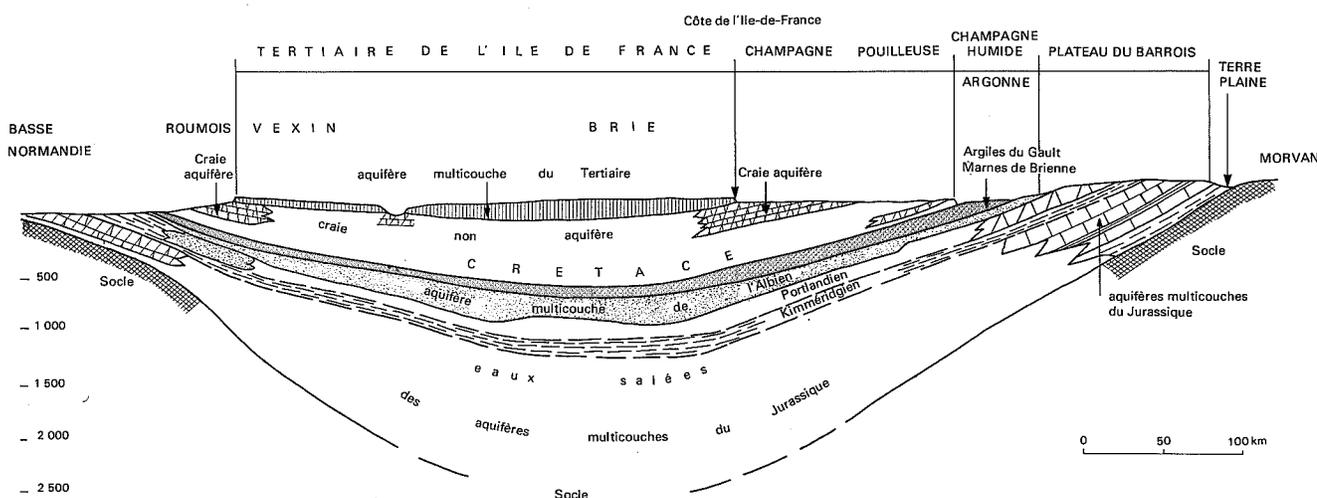


Fig. 15.1. — Schéma des grands aquifères multicouches du bassin de Paris, sur une section transversale, sensiblement Est-Ouest

EAUX SOUTERRAINES

Le régime de l'écoulement souterrain est imposé par la géomorphologie, principalement par le réseau hydrographique. Les zonalités régionales du climat, peu contrastées, n'ont pratiquement aucune répercussion hydrogéologique.

Les ressources en eaux souterraines sont importantes par leur taux de renouvellement élevé et par l'apport direct à fort débit des aquifères sous-jacents (aquifères complexes alluvions-substratum) et des cours d'eau dans les vallées.

Zone des eaux souterraines de subsurface

En dessous des aquifères libres, dans une zone profonde de quelques centaines de mètres (200-300 m), les structures hydrogéologiques imposent la présence généralisée d'eaux souterraines captives. Les transferts de volumes d'eau et de pressions, latéraux et verticaux, sont importants. Les communications verticales entre les formations aquifères superposées, plus ou moins séparées par des intercalations semi-perméables, constituent des aquifères multicouches.

L'influence des facteurs géomorphologiques sur le régime de l'écoulement souterrain s'estompe, réduite aux cours d'eaux principaux, l'impact des structures hydrogéologiques régionales étant plus important.

Le renouvellement des ressources en eaux souterraines est plus faible que dans la zone supérieure, les apports directs des eaux de surface étant plus réduits, mais toujours appréciables.

Zone des eaux souterraines profondes

Dans la zone plus profonde, seule la structure hydrogéologique générale du bassin impose le régime des eaux souterraines. Il ne faut cependant pas sous-estimer l'importance des transferts verticaux d'eau et de pressions traduits, par exemple, par l'influence hydrodynamique du drainage de la vallée de la Seine en aval de Paris. Dans cette zone les circulations verticales, ou subverticales, sont prépondérantes sur les apports latéraux. La vitesse d'écoulement décroît rapidement avec la profondeur.

Malgré des réserves en eaux considérables, les ressources exploitables sont faibles par suite du renouvellement très limité.

15.2. COMPARAISON DES PRÉLÈVEMENTS ET DES RESSOURCES POTENTIELLES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA RÉGION PARISIENNE

La région parisienne est définie par les territoires de la Ville de Paris et des départements des Hauts-de-Seine, de la Seine-Saint-Denis, du Val-de-

Marne, du Val-d'Oise, des Yvelines, de l'Essonne et de la Seine-et-Marne (fig. 15.2). Elle occupe, au centre du bassin de Paris, une superficie d'environ 12 500 km².

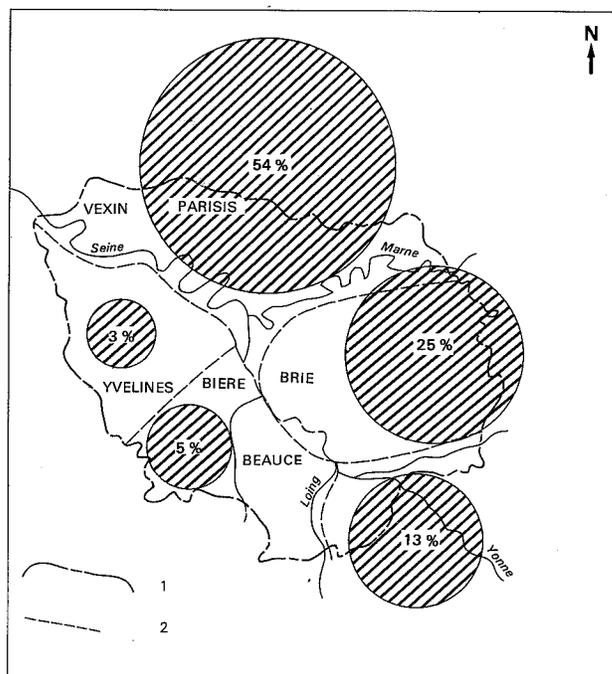


Fig. 15.2. — Pourcentage des prélèvements d'eaux souterraines de chaque zone hydrogéologique par rapport aux prélèvements de l'ensemble de la région parisienne (1965).

Prélèvements d'eaux souterraines (tableaux 15.1 et 15.2).

Une enquête réalisée par le Service géologique régional du bassin de Paris (B. R. G. M.), a apporté des données concernant les prélèvements et leur utilisation. Les volumes d'eau prélevés pour les besoins publics et privés, par les puits et forages dans l'ensemble de la région parisienne, atteignaient plus de 1 million de m³/j (380 millions de m³/an, ou 12 m³/s environ). Le tableau 15.2 montre que 70 % des prélèvements vont à l'alimentation en eau potable, 28 % à l'industrie et 2 % à l'agriculture (irrigations principalement). Pour sa part, l'alimentation publique de la région parisienne (Paris et sa grande banlieue) est évaluée à 720 000 m³/j, dont 280 000 m³/j importés des zones périphériques. Mais il faut y ajouter les prélèvements directs privés dans les nappes locales, supérieurs à 300 000 m³/j (non comptabilisés dans l'enquête). La consommation totale de l'agglomération parisienne y compris les eaux de surface, atteint 2 800 000 m³/j.

Dans la répartition régionale, la zone au Nord de la Seine et de la Marne (Vexin, Paris, Goële)

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

fournit à elle seule 54 % de l'exploitation totale de la région parisienne alors que la Beauce ne participe que pour 5 % (tableau 15.1 et fig. 15.2).

La répartition des prélèvements par grands aquifères captés montre la priorité apportée à l'aquifère de la Craie (37 %) et la faible importance de celui de l'Albien avec 1 % (tableau 15.2).

Ressources potentielles en eaux souterraines (tableau 15.3).

L'évaluation précise et directe des ressources potentielles en eaux souterraines ne peut être effectuée, faute de données suffisantes. C'est pourquoi des méthodes indirectes ont été tentées. Le débit moyen de l'écoulement souterrain global a été

TABLEAU 15.1

Prélèvements et utilisations des eaux souterraines dans la région parisienne par zones hydrogéologiques (enquête 1965)

Zones hydrogéologiques	Eau potable		Eau industrielle		Eau agricole		Total pour la zone	
	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%
Vexin-Parisis	109,62	53,5	93,54	45,5	2,35	1	205,51	54
Brie	84,50	90,5	8,45	9	0,38	0,5	93,33	25
Sénonais	50,50	98,5	0,735	1,4	0,035	0,1	51,27	13
Beauce-Bière	9,57	51	4,18	22	5,12	27	18,87	5
Yvelines	9,13	90	0,87	9	0,10	1	10,1	3
Totaux 10 ⁶ m ³ /an	263,32	70	107,775	28	8,985	2	379,08	

TABLEAU 15.2

Prélèvements et utilisations des eaux souterraines dans la région parisienne pour les cinq principaux aquifères multicouches (enquête 1965)

Aquifère multicouche	Eau potable		Eau industrielle		Eau agricole		Total pour l'aquifère		
	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%	10 ⁶ m ³ /an	%	
Calcaire de Beauce Sables de Fontainebleau	10,08	63	1,83	11	4,1	26	16,01	4	
Calcaire de Champigny	86,68	91	6,42	6,7	2,15	2,3	95,25	25	
Calcaire grossier Sables du Soissonnais Sables de Beauchamp	45,18	44,2	56,48	55,2	0,59	0,6	102,25	27	
Craie	105,44	60,2	32,56	37	1,14	1	139,14	37	
Albien	15,92	60,2	10,51	39,8			26,43	7	
Totaux . . .	10 ⁶ m ³ /an	263,30	69,5	107,80	28,4	7,98	2,1	379,08	100
	m ³ /s	8,34		3,41		0,25		12	

EAUX SOUTERRAINES

évalué sur quelques bassins hydrogéologiques, considérés comme représentatifs, d'après le débit des émergences, y compris l'alimentation des rivières. Ces données ont été extrapolées, en fonction des caractéristiques géologiques et hydrologiques, à l'ensemble de l'aquifère considéré. Les résultats rassemblés dans le tableau 15.3 montrent que le débit global moyen de l'écoulement souterrain des aquifères de la région parisienne peut être évalué de

24 à 39 m³/s. Il faut confronter ce chiffre avec celui des prélèvements, soit 12 m³/s.

Les prélèvements actuels n'atteignent pas encore le débit possible des aquifères. Mais par suite de la répartition inégale dans l'espace des exploitations actuelles, les recherches doivent s'orienter dans des zones plus éloignées de Paris, là où les nappes sont encore peu sollicitées.

TABLEAU 15.3

Estimation des débits globaux moyens de l'écoulement souterrain dans les cinq grands aquifères multicouches de la région parisienne

Aquifère multicouche	Bassin-type étudié	Débit souterrain (m ³ /s)	Importance relative du bassin-type par rapport à l'aquifère (%)	Débit souterrain total extrapolé (m ³ /s)	Prélèvements actuels connus (m ³ /s)
Calcaire de Beauce Sables de Fontainebleau	Essonne	2 à 5	50	4 à 10	0,5
Calcaire de Champigny	Provins	1	10 à 20	5 à 10	3
Calcaire grossier Sables du Soissonnais Sables de Beauchamp	Saint-Denis	2	35 à 50	4 à 6	3,2
Craie	Montereau	8 (dont 4 par réalimenta- tion induite)	65 à 80	10 à 12 (dont 3 à 6 par réalimenta- tion induite)	4,4
Albien	Région parisienne	1	100	1	1
Total				24 à 39	12,1

TABLEAU 15.4

Caractéristiques hydrogéochimiques moyennes des cinq principaux aquifères multicouches de la région parisienne

Aquifère multicouche	Résistivité de l'eau (ohm.cm)	TH (degrés français)	Concentration en mg/l				
			Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺
Calcaire de Beauce Sables de Fontainebleau	2 300	26	15	22	96	6	0
Calcaire de Champigny Gypses	1 950 1 300	29 57	20 21	22 142	96 185	7,5 25	0,1 0,05
Calcaire grossier Sables du Soissonnais		54 38	25 19	120 60	160 110	30 20	0,2 0,2
Craie	1 860	32	17	21	107	5	0,1
Albien	3 880	10	9	12	28	8	0,2

LEXIQUE

Anisotropie. — Voir isotropie.

Aquifère. — Formation géologique renfermant dans ses vides de l'eau en circulation appréciable, pouvant être extraite par des moyens économiques. L'aquifère est délimité par : la base imperméable ou *substratum*, la *surface piézométrique* dans les aquifères libres ou le *toit*

dans les aquifères captifs (fig. L. 1). Dans l'*aquifère captif* la surface piézométrique est au-dessus du toit de l'aquifère. L'aquifère comprend la *roche-réservoir* (trame solide : grains de silice d'un sable par exemple) et l'*eau* (eau de gravité et eau de rétention). Ces deux phases constituent un seul complexe physico-chimique. Synonymes : couche aquifère, gisement d'eaux souterraines.

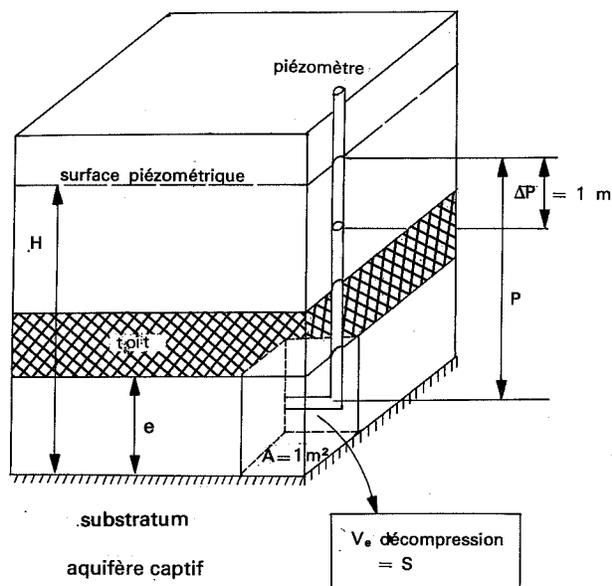
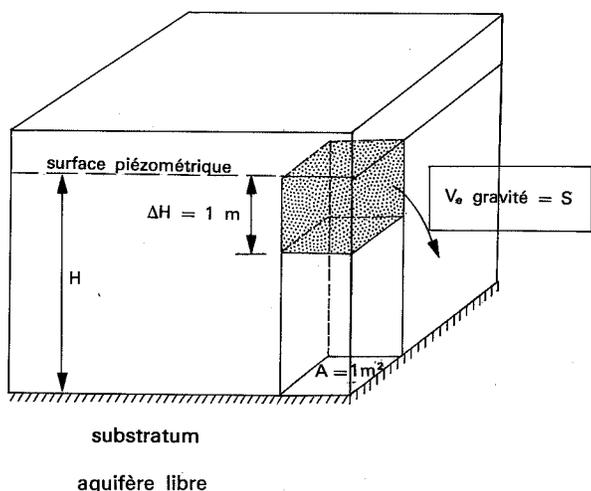


Fig. L. 1. — Caractéristiques des aquifères. Aquifère libre et aquifère captif. Coefficient d'emmagasinement

Aquifère multicouche. — Aquifère constitué par une alternance de formations perméables et semi-perméables, permettant les échanges verticaux (drainance) entre formations. Exemple : aquifère multicouche de l'Albien.

Anticlinā. — Voir plis.

Artésien. — Puits ou forage exploitant un aquifère captif dont la surface piézométrique se situe au-dessus du sol et qui fournit ainsi de l'eau jaillissante naturellement. Synonyme : jaillissant.

Ascendant. — Puits ou forage exploitant un aquifère captif dont la surface piézométrique se situe au-dessous de la surface du sol. Non jaillissant par opposition à artésien.

Bilan d'eau. — Balance, comptabilisation des quantités d'eau, entre les *entrées* (apports) et les *sorties* (pertes, émissions) rapportée à une unité d'espace (bassin hydrographique, région continentale, aquifère) pendant une période déterminée. En général, il n'y a pas équilibre et la différence, positive ou négative, est appelée *variation de la réserve* en eaux souterraines. Le bilan peut s'écrire sous une des formes d'égalité suivante, la période considérée étant généralement l'année hydrologique ou l'année hydrologique moyenne (période de 10 ans ou plus) :

$$\begin{aligned} \text{entrées} &= \text{sorties} \pm \text{variation de la réserve} \\ \text{alimentation} &= \text{émission} \pm \text{variation de la réserve.} \end{aligned}$$

Synonymes : bilan hydrique, bilan hydraulique, bilan hydrologique, balance hydraulique.

EAUX SOUTERRAINES

Coefficient d'emménagement, S (sans dimensions). — Rapport du volume d'eau libéré par unité de surface à la variation de charge hydraulique correspondante, sans référence au temps. Il est mesuré sur le terrain par des pompages d'essais ou par l'étude de la vidange des aquifères. Dans les aquifères libres, où l'eau est libérée par gravité, sa valeur est de l'ordre de la porosité efficace. Dans les aquifères captifs, où jouent des phénomènes de décompression et de compression, elle est 100 et même 1 000 fois plus faible. Exemple : aquifère multicouche de l'Albien, où $S = 0,2$ pour l'aquifère libre et $S = 0,004$ pour l'aquifère captif. Synonyme : coefficient de storage.

Chronostratigraphie. — Voir stratigraphie.

Cône de dépression (pompage). — L'exploitation d'un aquifère par pompage crée, autour de l'ouvrage (puits ou forage), une *dépression* de la surface piézométrique qui, en faible écoulement a la forme d'un cône la pointe en bas, dit cône de dépression. Synonymes : cône d'appel, cône de rabattement.

Courbe isobathe. — Courbe d'égal altitude de la surface d'une formation géologique, ou d'égal profondeur par rapport à la surface du sol selon les conventions.

Courbe isopache. — Courbe d'égal épaisseur d'une formation géologique, ou d'un aquifère.

Courbe piézométrique. — Courbe d'égal niveau de la surface piézométrique des aquifères libres ou captifs. Certains auteurs ont défini les courbes hydroisohypses (ou hydrohypsés), courbes d'égal altitude de la surface piézométrique des aquifères libres. Dans les conditions habituelles du régime des eaux souterraines il n'y a pas lieu d'établir une distinction et nous admettons le terme général de courbe piézométrique. Synonymes : courbe isopiézométrique, courbe isopieze.

Débit spécifique (puits), q_s , m³/h par m. — Débit obtenu par pompage dans un puits, ou un forage, par mètre de rabattement, avec niveau stabilisé. Exemple : un puits débitant 100 m³/h avec un rabattement stabilisé de 5 m, a un débit spécifique de 20 m³/h par m.

Déficit d'écoulement, D , mm. — Différence, pour une période déterminée, entre la quantité d'eau tombée (précipitations) sur un bassin hydrographique donné et la quantité d'eau écoulée à son exutoire principal. Pour une longue période il est égal à la différence entre la hauteur de précipitation annuelle moyenne, P , augmentée de la variation de la réserve ΔV et l'évapotranspiration réelle annuelle moyenne, E :

$$D = P - E + \Delta V.$$

La quantité $P - E$ est appelée pluie efficace.

Degré hydrotimétrique total, TH . — Le degré hydrotimétrique total indique la teneur globale de l'eau en sels de calcium et de magnésium dissous. Il caractérise la dureté de l'eau. Le degré hydrotimétrique français correspond à 10 mg de CaCO₃ par litre d'eau. Il est sensiblement égal à 10 ppm, le ppm, ou partie par millions, correspondant à 1 mg de substance dissoute dans 1 kg d'eau. Pratiquement on peut l'exprimer par l'expression :

$$TH = 5 \left(\frac{Ca}{20} + \frac{Mg}{12} \right)$$

Ca étant la teneur en calcium et Mg la teneur en magnésium en mg/l.

Diaclase. — Fissure étroite perpendiculaire ou subperpendiculaire à la surface des bancs de roche compacte. Ne correspond pas à un déplacement relatif des blocs individualisés.

Discordance et lacune stratigraphique. — Lorsque les formations géologiques sont régulièrement superposées les séries sont concordantes. Dans le cas contraire il y a discordance. La discordance peut faire suite à une *lacune stratigraphique*, qui correspond à un arrêt temporaire de sédimentation.

Drainance. — Terme d'hydraulique souterraine. *Écoulement* de l'eau à travers le toit, ou le substratum semi-perméable d'un aquifère (pertes ou alimentation). Synonyme : leakage.

Étiage (surface piézométrique). — Niveau minimal de la surface piézométrique au cours d'une période définie (année, saison, etc.).

Écoulement souterrain (écoulement des eaux souterraines). — Mouvement de l'eau souterraine dans le sol et le sous-sol sous l'action des forces de pression et de gravité. C'est également la part de l'écoulement total provenant d'émergences de nappes souterraines.

Émergence. — Sortie d'eau d'un aquifère à la surface du sol. Peut se faire par une source ou par des suintements.

Exurgence. — Terme employé pour désigner l'émergence de l'eau d'un aquifère karstique.

Facès. — Ensemble des caractéristiques pétrographiques, paléontologiques et sédimentologiques d'une formation. Le faciès permet de reconstituer le milieu biochimique et physique dans lequel le dépôt considéré s'est constitué. Exemples : faciès continental avec formations lacustres, alluvions de rivières; faciès récifal avec Coraux, Éponges, etc.

Fissuration. — Ensemble des vides d'une roche compacte. Elle comprend : les *microfissures* (diaclases, joints de stratifications) à ouverture de l'ordre du 1/10 de mm; les *macrofissures*, à ouverture supérieure à 2,5 mm (fissures, chénaux, conduits, cavités).

Formations superficielles. — Dépôts de surface constitués par l'altération d'une roche-mère sous-jacente. Leur très faible distance de transport les différencie des alluvions. Exemples : arènes de décomposition des granites (Morvan, Cotentin), argiles à silex de la Craie (Haute-Normandie), limons des plateaux calcaires (Beauce et Brie).

Gradient hydraulique, I (sans dimensions). — Pente de la surface piézométrique.

Homogène et hétérogène. — Un milieu est homogène lorsque ses caractéristiques physiques et hydrodynamiques restent constantes dans le sens de l'écoulement souterrain.

Hydrochimie. — Étude des caractéristiques chimiques des eaux (sels dissous). Pour les eaux souterraines c'est l'*hydrogéochimie*.

Hydrogéologie. — L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Elle a pour objet l'étude du rôle des matériaux constituant le sol et le sous-sol et des structures géologiques dans l'origine, la distribution, le mode de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physico-chimiques de l'eau souterraine. Elle se préoccupe également de l'exploitation et de la conservation en qualité et en quantité des ressources en eaux souterraines.

Imperméable. — Formation géologique où l'eau s'écoule très lentement à la vitesse de quelques centimètres ou millimètres par an dans des conditions normales de gradient hydraulique. Quoique renfermant souvent un volume d'eau pouvant dépasser 50 % par unité de volume, cette formation ne peut en libérer qu'une faible fraction sous l'action de la gravité (moins de 1 %). Par convention la limite entre les formations perméables et imperméables est fixée à une perméabilité de Darcy de 10^{-9} m/s.

Infiltration. — Pénétration de l'eau de surface et des précipitations dans le sol, suivant un écoulement descendant.

Isopache. — Voir courbe isopache.

Isotrope et anisotrope. — Par définition, un milieu est isotrope lorsque ses caractéristiques physiques et hydrodynamiques (granulométrie, perméabilité, porosité, vitesses d'écoulement) sont constantes dans toutes les directions de l'espace. En particulier dans un système de coordonnées tridimensionnel.

Lacune stratigraphique. — Voir discordance.

Lithostratigraphie. — Voir stratigraphie.

Module spécifique d'écoulement, R_s , l/s par km². — Quotient du débit d'écoulement, mesuré à la station de jaugeage d'un cours d'eau, par la surface du bassin versant hydrographique drainé.

Niveau piézométrique, m. — Par définition le niveau piézométrique est l'altitude à laquelle s'établit le plan d'eau libre dans un tube pénétrant dans l'aquifère, sous la pression atmosphérique, ou de l'émergence d'une source.

Paléokarst. — Karst fossile constitué au cours des périodes géologiques. Exemples : paléokarst du Jurassique supérieur de Bourgogne formé entre la fin du Jurassique et le début du Crétacé.

Perméabilité, m/s. — Propriété des roches-réservoir conditionnant le débit de l'écoulement souterrain sous l'action des forces de pression et de gravité en milieu saturé. La perméabilité est mesurée par le coefficient de perméabilité de Darcy. C'est le volume d'eau exprimé en m³, traversant par seconde, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une surface unitaire de 1 m de section orthogonale à la direction du courant, à la température de 20 °C. Il a les dimensions d'une vitesse.

Phréatique (aquifère). — Étymologiquement : eau des puits. Ce terme a été abandonné par suite de l'accroissement de la profondeur des puits. A été repris dans le sens d'aquifère libre dont la surface piézométrique est peu profonde.

Piézomètre. — Ouvrage en général de faible diamètre, utilisé pour la mesure du niveau piézométrique.

Piézométrie. — Relevés ponctuels des niveaux d'eau souterraine, étude des relations des niveaux en différents points de l'espace à un instant donné, aboutissant à la cartographie en courbes de niveau (isopièzes) du plan d'eau souterrain (surface piézométrique) et étude des fluctuations du niveau en fonction du temps afin de déterminer le régime de la nappe.

Plis. — Déformations souples donnant des ondulations dont les voûtes sont les *anticlinaux* et les creux, les *synclinaux*. Une aile de voûte constitue un *monoclinal*. Les plis sont droits, déjetés ou déversés selon l'inclinaison de leur plan axial par rapport à la verticale. Les plis déjetés sont dissymétriques. Dans certains cas le flanc inverse des plis déversés peut se laminer et se briser donnant un pli-faille (fig. L. 2).

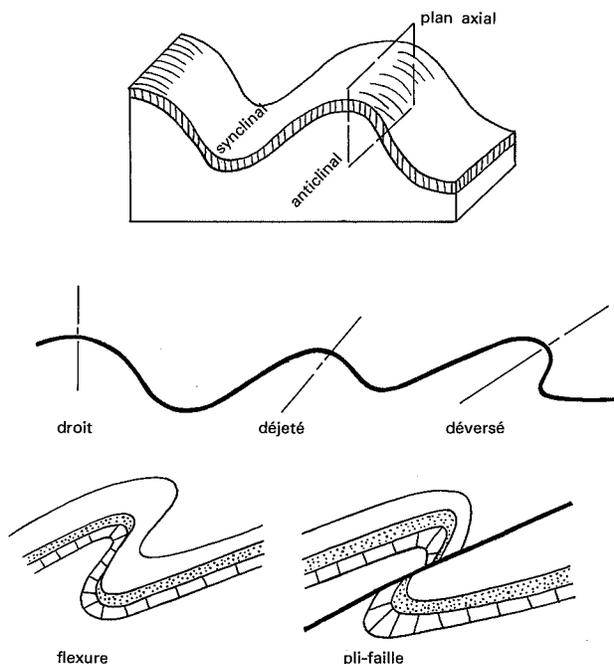


Fig. L. 2. — Définition des types de plis

Porosité efficace (sans dimensions). — Rapport, exprimé en pourcentage, du volume d'eau de gravité, V_e au volume total, V , d'un échantillon de roche ou de sol. C'est une mesure de laboratoire, obtenue par drainage de l'eau de l'échantillon initialement saturé, prélevé en place, pendant 24 heures (fig. L. 3).

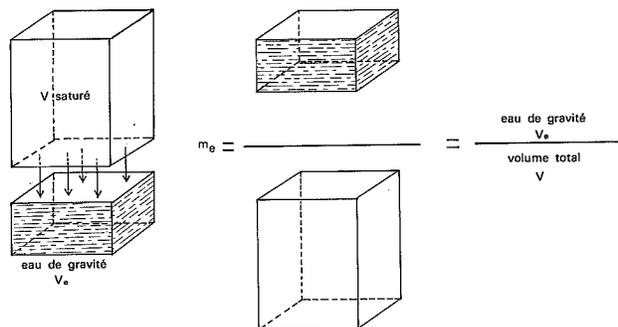


Fig. L. 3. — Définition de la porosité efficace

EAUX SOUTERRAINES

Porosité totale, m (sans dimensions). — Rapport, exprimé en pourcentage, du volume des vides V_v , au volume total, V , de l'échantillon desséché.

Potentiel hydraulique, φ . — Énergie par unité de masse de liquide. Dans les aquifères, où l'écoulement est régi par la loi de Darcy, il est mesuré par le niveau piézométrique.

Rabatement, Δ , m. — Abaissement du niveau de l'eau dans un ouvrage sous l'effet du pompage. C'est la différence entre le niveau piézométrique et le niveau d'eau dans l'ouvrage en cours d'exploitation (niveau dynamique).

Régime d'écoulement souterrain. — Caractéristiques du comportement de l'écoulement souterrain en fonction des paramètres climatiques, géomorphologiques, géologiques et hydrodynamiques.

Réseau aquifère. — Définit, pour une roche compacte, l'ensemble des fissures, au sens large de la fissuration, plus ou moins remplies d'eau et communiquant entre elles. S'oppose à aquifère en milieu poreux.

Ne pas confondre avec réseau d'écoulement.

Réseau d'écoulement. — L'écoulement souterrain peut être représenté par deux familles de lignes (ou de courbes) se recoupant en réseau orthogonal, à mailles approximativement rectangulaires ou carrées, constituant un réseau d'écoulement (fig. L. 4).

Les *lignes de courant* matérialisent la trajectoire de la molécule (ou de la particule) d'eau. Elles indiquent la direction moyenne de l'écoulement.

Les *lignes équipotentielles*, perpendiculaires aux lignes de courant, relient les points d'égal potentiel. Ce sont les courbes piézométriques, ou isopièzes, de la surface piézométrique.

Cette représentation peut être figurée sur deux modèles : modèle plan de la surface piézométrique ou *carte piézométrique*; modèle en section verticale, orientée dans la direction de l'écoulement souterrain ou *coupe hydrogéologique*.

Résistivité de l'eau, ρ , en $\Omega \cdot \text{cm}$. — Résistance de l'eau au passage du courant électrique. L'unité de résistance est l'ohm.cm, qui est la résistance d'un prisme d'eau de 1 cm^2 de section et d'un cm de haut, à la température de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

La résistance de l'eau est liée au résidu sec (teneur totale) en sels par la relation approximative :

$$\text{résidu sec (mg/l)} = \frac{0,7 \cdot 10^6}{\text{résistivité en ohm} \cdot \text{cm}}$$

La réglementation française donne les indications suivantes sur la relation entre la minéralisation et la résistance :

supérieure à $10\,000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation très faible,
de $5\,000$ à $10\,000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation faible,
de $3\,000$ à $5\,000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation peu accentuée,
de $1\,500$ à $3\,000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation moyenne,
de $1\,000$ à $1\,500 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation importante,
inférieure à $1\,000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$: minéralisation excessive.

La conductivité $1/\rho$ est l'inverse de la résistance. L'unité est le micromho/cm ($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$).

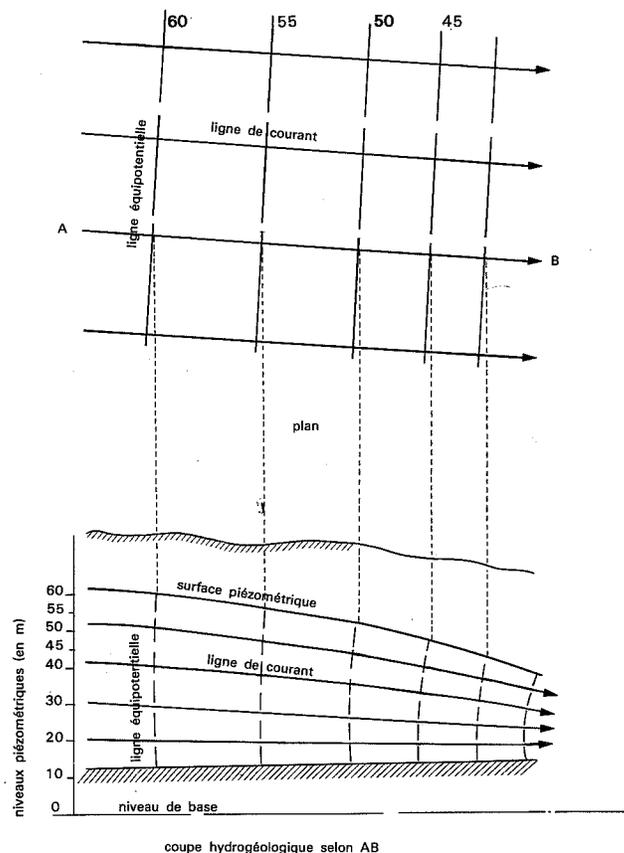


Fig. L.4. — Représentation du réseau d'écoulement en plan et en coupe verticale selon une ligne de courant. Les lignes de courant et les lignes équipotentielles constituent un réseau à mailles orthogonales.

Résurgence. — Venue à jour d'un cours d'eau souterrain constitué par les pertes d'un cours d'eau de surface dans des terrains karstiques.

Semi-perméable. — Formation de faible perméabilité où le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible, mais à travers laquelle des transferts d'eau sont possibles (drainance) en provenance ou à destination d'aquifères contigus. Favorise les transferts verticaux d'eaux souterraines. Leur perméabilité s'étale de 10^{-4} à 10^{-8} m/s .

Source. — Toute sortie naturelle d'eau souterraine, ayant un écoulement visible.

Les sources sont classées en trois catégories :

- sources de déversement (fig. L. 5),
- sources d'émergence (fig. L. 6),
- sources issues de fractures (fig. L. 7).

Sources de déversement — Sources issues d'un aquifère recoupé par la surface topographique et dont le substratum affleure. Elles sont situées au contact du toit du substratum, le long de l'affleurement, donnant ainsi souvent des *lignes de sources à débit relativement constant*. Leur point d'émergence est fixe. Synonymes : sources de contact, sources d'affleurement.

Sources d'émergence — Sources à l'intersection de la surface piézométrique d'un aquifère libre et de la surface topographique et dont le substratum de l'aquifère n'affleure pas. Leur point d'émergence se déplace en fonction des variations du niveau piézométrique. Ces sources « écrèment » l'aquifère et présentent un débit irrégulier. Elles peuvent tarir sans que les réserves soient épuisées. Synonymes : sources de dépression, sources de thalweg.

Sources issues de fractures — Sources issues de l'intersection de fractures du sous-sol (failles, lignes de contact anormal, broyages) avec la surface topographique. Elles apparaissent donc dans les massifs calcaires ou cristallins. Les sources thermo-minérales appartiennent à cette catégorie. Synonymes : sources de faille, sources filoniennes, sources diaclasiennes.

Stratigraphie. — La stratigraphie est l'étude des terrains et de leur distribution dans l'espace en vue de reconstituer l'histoire de la Terre.

La stratigraphie met en œuvre plusieurs méthodes distinctes de description des couches de terrain et dont l'emploi conjoint conduit à la synthèse stratigraphique.

Ce sont :

- la lithostratigraphie ;
- la chronostratigraphie ;
- la biostratigraphie, etc.

La **lithostratigraphie** définit et étudie des unités lithologiques homogènes (sables, calcaire, argile, etc.). Elle

aboutit à l'identification d'**unités lithostratigraphiques** ou **formations**. Ces unités sont valables à l'échelle régionale et permettent de dresser des cartes de zones lithostratigraphiques ou de formations. Habituellement, on associe au terme lithologique le nom du site où la formation a été définie et où elle est bien représentée. Exemple : Sables de Fontainebleau, Calcaire de Champigny, Marnes de Brienne dans le bassin de Paris. Les unités lithostratigraphiques sont à la base de l'identification des gisements d'eaux souterraines ou aquifères et des intercalations imperméables ou semi-perméables. On pourrait alors définir les **unités hydrostratigraphiques**, si l'emploi de ce terme se justifiait. Les unités lithostratigraphiques définissent les caractéristiques physico-chimiques et dimensionnelles de la roche-réservoir. Exemples : formation calcaire karstique supérieure portlandienne, formation argilo-sableuse des Sables verts, formation semi-perméable de la Molasse du Gâtinais, formation imperméable de l'ensemble des Marnes de Brienne et des Argiles du Gault.

La **chronostratigraphie** permet de dater l'unité lithostratigraphique (attribution d'un âge absolu d'après l'échelle géochronométrique) et de la rattacher à un étalon admis internationalement (système, étage ou sous-étage). Elle est ainsi située dans l'échelle stratigraphique générale, permettant des corrélations régionales et mondiales. Les dénominations d'étages sont données d'après le site, où ils sont bien représentés ou décrits pour la première fois. Exemples : Sénonien (de Sens), Lutétien (de Lutèce = Paris), Bathonien (de Bath, bassin de Londres), etc.

SOURCES DE DÉVERSEMENT

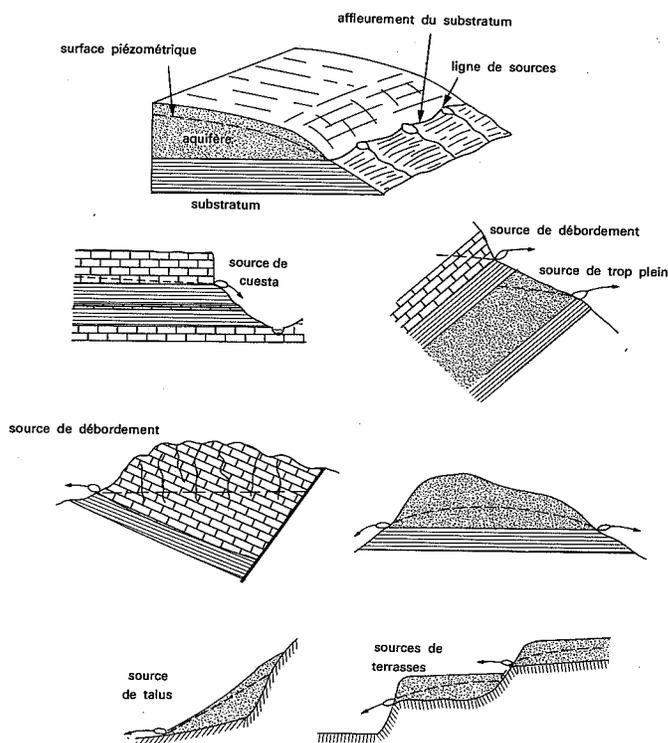


Fig. L. 5. — Types de sources de déversement

SOURCES D'ÉMERGENCE

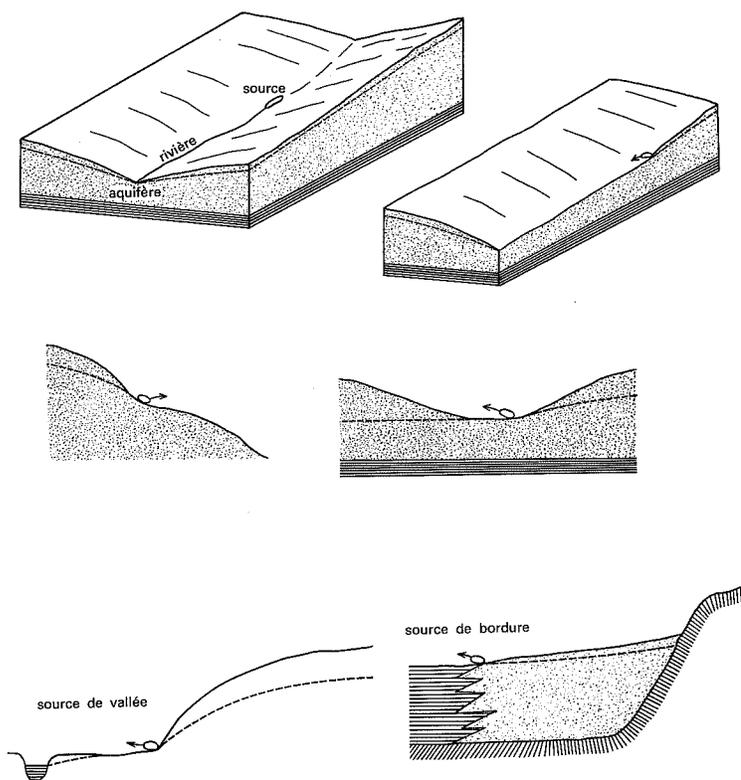


Fig. L. 6. — Types de sources d'émergence

SOURCES DE FRACTURES

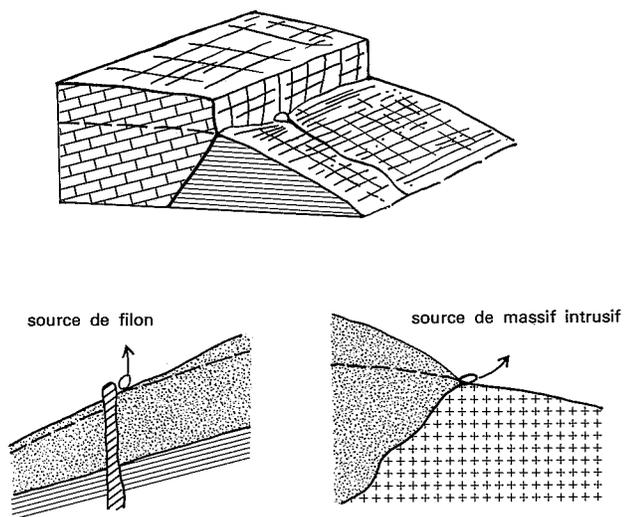


Fig. L. 7. — Types de sources de fractures

Unités lithostratigraphiques	Unités chronostratigraphiques		
Formations	Étages	Systèmes	Ères
Sables de Fontainebleau	Stampien (Étampes)	Oligocène Paléogène	Tertiaire
Calcaire grossier	Lutétien (Lutèce)	Éocène Paléogène	Tertiaire
Sables verts	Albien (Aube)	Crétacé Crétacé inférieur	Secondaire

Substratum (aquifère). — Base imperméable, ou semi-perméable, de l'aquifère. Synonyme : mur.

Surface piézométrique. — Surface déterminée par l'ensemble des niveaux piézométriques d'un aquifère déterminé. La morphologie de cette surface est représentée par des courbes d'égal niveau piézométrique, ou courbes piézométriques, ou isopièzes, hydroisohypses.

Synclinal. — Voir plis.

Système aquifère. — Aquifère circonscrit par des limites constituant des barrières à toute propagation d'in-

fluences avec l'extérieur (dans les deux sens) et dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Transgression. — Avancée de la mer sur un continent aplani par l'érosion avec, en général, dépôts de sédiments grossiers au début (à la base) puis de plus en plus fins.

Transmissivité, T , m²/s. — Paramètre régissant le débit d'eau transitant par unité de largeur de la zone saturée et par unité de gradient hydraulique. Elle est définie comme le produit de la perméabilité, K , par la puissance, H de l'aquifère : $T = KH$.

LISTE DES SYMBOLES UTILISÉS ET DES UNITÉS

D	: Déficit d'écoulement :	mm
I	: Gradient hydraulique :	sans dimensions
K	: Coefficient de perméabilité de Darcy :	m/s
m	: Porosité totale :	sans dimensions
m_e	: Porosité efficace :	sans dimensions
q_s	: Débit spécifique d'un puits :	m ³ /h/m
R_s	: Module spécifique d'écoulement :	1/s/km ³
S	: Coefficient d'emmagasinement :	sans dimensions
T	: Transmissivité :	m ² /s
TH	: Degré hydrotimétrique total :	sans dimensions
Δ	: Rabattement :	m
ρ	: Résistivité de l'eau :	$\Omega \cdot \text{cm}$
$1/\rho$: Conductivité de l'eau :	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

INDEX GÉOGRAPHIQUE

- Ablis : 119.
 Achères (sondage) : 72.
 Aire (rivière) : 46.
 Aisne (rivière) : 90, 93, 108.
 Ajoncs (source des) : 33.
 Almont (rivière) : 139.
 Almagne (sondage) : 72.
 Amiens (sondage) : 72 - (région) : 54.
 Andresy : 64.
 Aquitaine (bassin d') : 27.
 Arcueil : 17.
 Ardennes : 20, 48, 91.
 Argentan : 49.
 Argenteuil : 99.
 Argonne : 53, 79, 90.
 Armançe : 59, 64.
 Armançon (rivière) : 30, 34, 66.
 Armentière (source d') : 87.
 Arpajon : 118, 119.
 Artois : 18.
 Aube (rivière) : 30, 34, 90, 91, 136 - (région) : 59, 62, 64, 81.
 Aubergenville : 136.
 Aubervilliers : 110, 112.
 Aubetin (rivière) : 110, 139.
 Aubigny-Nère (sondage) : 72.
 Aufferville : 129.
 Aure (rivière) : 50, 51, 52.
 Auteuil (sables d') : 108 - (eaux minérales) : 18.
 Auxerre : 42, 65, 75, 132.
 Auxerrois : 30, 34, 37, 38, 40, 41.
 Auxois : 30, 31, 32, 38.

 Bagneux (sondage) : 72.
 Bar-sur-Aube : 40.
 Barrois : 25, 29, 30, 31, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 48.
 Bars (Côte des) : 38, 40.
 Bassigny : 25, 29, 30, 32, 33, 34, 50.
 Bayeux : 51.
 Bazois : 30, 33.
 Beauce (calcaire de) : 26, 28, 29, 103, 104, 117, 124, 125, 126, 128, 129, 131, 138 - (région) : 26, 68, 99, 100, 104, 113, 117, 119, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 138, 141 - (fosse de) : 110.
 Beauchamps (sables de) : 106, 111, 116, 118, 119, 120, 123, 137.
 Beaumont-sur-Oise : 62, 136.
 Beauvais (ville) : 62, 68 - (sondage) : 72.
 Bellancourt (sondage) : 121.
 Belgique : 20.
 Belleuse (sondage) : 72.
 Belleville (captages) : 17.
 Berniers (source des) : 76.
 Bettreville-sur-Odon (sources) : 52.

 Beynes (anticlinal de) : 55, 62, 68, 99, 113.
 Bière : 114, 115, 118, 129.
 Bierry (source de) : 33.
 Bleneau : 84.
 Bonneval (sondage) : 72.
 Bougival : 64.
 Boulogne-sur-Seine : 89, 99, 136.
 Boulonnais : 54.
 Bourbillon (source du) : 52.
 Bourges : 53.
 Bourgogne (Basse-) : 25, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 39, 40, 44, 45.
 Bracheux (sables de) : 29, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111.
 Bray (Pays de) : 54, 59, 62, 63, 68, 69, 94, 95, 96, 99.
 Brèche (rivière) : 95.
 Bresle (rivière) : 93, 95.
 Briare (sondage) : 72.
 Brie (calcaire de) : 26, 29, 103, 104, 117, 119, 126, 128, 130, 133 - (région) : 26, 54, 62, 104, 108, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 125, 129, 141 - (fosse de) : 64.
 Brie-Comte-Robert : 99, 112, 121.
 Brienne (marnes de) : 59, 62, 76, 79, 84.
 Brion (sondage) : 60.
 Bussy-en-Othe (forage) : 76.
 Butte-aux-Cailles (sondage) : 72.

 Cachan : 17.
 Caen (plaine de) : 49, 50, 51, 52.
 Cambrai : 54.
 Cannes-écluse : 79, 99.
 Canteleu (sondage) : 72.
 Carentan : 49.
 Carpiquet : 51.
 Caux (Pays de) : 54, 59, 68.
 Cerilly (source de) : 88.
 Chablis : 40, 41.
 Chailly-en-Bière (sondage) : 25.
 Champagne : 25, 29, 30, 39, 79, 83, 84, 90 - (Pouilleuse) : 90, 91, 115 - (Humide) : 30, 53, 62, 79, 90.
 Champigneulle (sondage) : 72.
 Champigny (calcaire de) : 26, 28, 29, 103, 104, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 137.
 Champvallon (sondage) : 72.
 Chapelle-Vallon (dôme piézométrique) : 93.
 Chartres : 59, 124.
 Châteaudun (sondage) : 72.
 Château-Gaillard : 137.
 Château-Landon (sondage) : 25.
 Château-Thierry : 107.
 Châtillon-sur-Seine : 41.

 Châtillonnais : 30, 34, 37, 38, 40, 41.
 Chaumont-sur-Aire : 46.
 Chevreuse (vallée de) : 129.
 Chichery (sondage) : 72, 76.
 Clermont : 95.
 Clichy (forage) : 18.
 Cochepies (source de) : 86, 88.
 Combault : 119.
 Combe-Sainte-Marie : 41.
 Compiègne : 95, 102.
 Corbeil : 99, 107, 114, 115.
 Cormeilles : 117, 118.
 Cormelles : 51.
 Cotentin : 20, 50.
 Coulommes : 25, 99, 112.
 Coulommiers : 59, 62, 64, 99, 119.
 Courson-les-Carrières (sources) : 45.
 Creil : 59.
 Créteil : 110.
 Croissy : 89, 99, 136.
 Cry-sur-Armançon : 41.
 Cuise (sables de) : 108.
 Cure : 30, 34, 38, 40, 41.

 Défense : 139, 140.
 Dhuys (source) : 121.
 Dieppe : 59, 62.
 Dives (rivière) : 49.
 Domrémy (sondage) : 72.
 Doué : 127.
 Douix : 41.
 Dourdan : 119.
 Dracy (sondage) : 72.
 Dragon (source du) : 121.
 Drancy : 110.
 Dreux : 68.
 Drillons (sables des) : 59, 62, 64.
 Drôme : 52.
 Druiys (source de) : 41, 43.

 École Militaire (forage) : 18.
 Elbeuf-Ceris (sondage) : 18, 72.
 Épernay : 118, 136.
 Épernon : 126.
 Epte : 98.
 Essonne (région) : 118, 142 - (rivière) : 124, 125, 129, 138.
 Étampes (calcaire d') : 127, 129 - (région) : 25, 62, 124.
 Étretat : 96, 98.
 Eure : 89.
 Évreux : 54, 59, 79.
 Ezanvielle : 111.

 Falaise : 49.
 Fleury (sondage) : 72, 76.

EAUX SOUTERRAINES

- Fontainebleau (sables de) : 29, 103, 104, 124, 126, 128, 129, 130, 131, 138 - (région) : 18, 54, 55, 99, 104, 118.
 Fontaine-Milard : 45.
 Fontaine-Sœuvre (source de) : 45.
 Fontenay-Trésigny : 99.
 Frécambault (sables de) : 59, 61, 62, 64.
 Fusain (rivière) : 129.
- Galles (Pays de) : 20.
 Gâtinais (molasse du) : 127, 128 - (région) : 25, 29, 62, 69, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 115, 130.
 Gault (argiles du) : 59, 62, 76, 79, 84, 95, 96.
 Goële (région) : 113, 142.
 Gonesse : 99.
 Grand-Camp (sondage) : 72.
 Grande-Paroisse (forage) : 21, 24, 72, 76, 88.
 Grand-Morin : 110.
 Grandpuits (usine) : 105.
 Grenelle (forage de) : 18, 72, 73.
 Guillon (source de) : 33.
 Gurgy : 41.
- Hauts-de-Seine : 142.
 Hérouville (captages) : 51, 52.
 Hervault (forêt d') : 41.
 Hondouville : 95.
 Honfleur : 96.
 Hôtel-de-Ville de Paris (sondage) : 111.
 Hurepoix : 26, 104, 111, 114, 118, 119, 124, 126, 131.
- Ile-de-France : 20, 25, 26, 29, 79, 84, 90, 93, 99, 100, 103, 104, 107, 108, 115, 119, 120, 128, 139.
 Isle-Adam (sondage) : 72.
 Issy-les-Moulineaux (sondage) : 72, 99.
 Iton : 79, 83.
 Ivry-Daumesnil (sondage) : 55, 64, 72.
- Jacqueline (Grotte de la) : 79.
 Janville (rivière) : 51.
 Joigny : 87.
 Jonc (source du) : 45.
 Jouy : 107.
 Juine : 124, 125, 129, 138.
- La Chapelle-Vieille-Forêt : 45.
 La Ferté-Gaucher : 99.
 La Ferté-sous-Jouarre : 119.
 Laignes : 41, 45.
 Laimont (forage) : 48.
 Laisou (rivière) : 50.
 Langres (plateau de) : 30, 34.
 Laonnois : 100, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 114, 124.
 La Roche-Guyon : 136.
 La Rochepot : 45.
 Le Havre : 68.
 Le Mée : 121.
 Le Pecq : 136.
 Lacey-sur-Ving : 45.
 Lillebonne : 99.
 Lilliers (puits) : 18.
 Limours : 119.
 Loing : 79, 84, 85, 87, 88, 90, 124, 129.
 Loire (rivière) : 49, 54, 68, 87, 100, 102, 124, 129.
 Longjumeau (fosse de) : 99, 110, 114, 120.
 Lorraine : 25, 29, 46, 48.
 Lumigny : 127.
 Lunain : 85, 87, 88, 136.
 Lusigny (sondage) : 72.
- Louviers : 95.
- Mailly-la-Ville : 34.
 Mailly-le-Château : 34.
 Maisons-Laffitte : 137.
 Malherbes : 127.
 Manche : 20, 29, 49, 54, 66.
 Mantes : 68, 69, 104, 123, 133, 136.
 Marche-Seuil (source de) : 33.
 Marines (sables de) : 118.
 Marne (rivière) : 30, 34, 90, 91, 92, 93, 104, 105, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 123, 126, 137, 138, 142.
 Massif Armoricaïn : 20.
 Mauldre : 99.
 May-sur-Orne : 50.
 Meaux : 59, 62, 99, 118.
 Melun : 59, 62, 66, 99, 112, 118.
 Ménades (sources des) : 33.
 Ménilmontant (captage) : 17.
 Méréville : 119, 125, 127.
 Mesnil-Amelot : 111.
 Meulan : 73, 136.
 Meuse (rivière) : 30, 46.
 Moisson : 99.
 Monceau (sables de) : 118.
 Mondeville (captages de) : 52.
 Montaignillon : 127.
 Montargis : 59.
 Montereau : 76, 84, 85, 88, 133, 136, 137.
 Montfort-l'Amaury : 107.
 Montgueux : 93.
 Montigny-le-Guesdier : 99.
 Montigny-Montfort (source de) : 45.
 Montmorency : 99, 127.
 Montôt (source de) : 45.
 Moronvilliers : 93.
 Morvan : 20, 30, 34, 38.
 Muance : 50.
 Mue : 50, 51, 52.
 Mureaux (Les) : 137.
- Nailly : 34.
 Nangis (sondage) : 25.
 Nanterre : 72.
 Nemours : 87, 125, 126.
 Neuilly (sondage) : 76, 111.
 Nivernais : 34, 37, 38, 40, 41.
 Noé (source de) : 89.
 Nogent-le-Roi : 127.
 Nogent-sur-Seine : 85, 88, 136.
 Noiron-sur-Bèze (source de) : 45.
 Normandie : 49, 84, 93, 95, 97, 98 - (Basse-) : 25, 29, 50, 51 - (Haute-) : 79, 94, 98.
- Odon : 52.
 Oise : 89, 96, 98, 102, 104, 110, 111, 112, 114, 118, 136, 137.
 Orge : 89, 124, 125, 129, 138.
 Orléans : 102, 124.
 Orléanais (calcaires de l') : 127.
 Ormain : 51, 52.
 Orsay : 72.
 O. R. T. F. (maison de l') : 21, 24, 72.
 Othe (forêt d') : 38, 79, 84, 85 - (Pays d') : 86.
 Ouanne : 85, 136.
 Ouche : 34, 41.
 Ource : 90.
 Ourcq : 112.
- Pantin : 55, 64, 73, 112.
 Parc (source du) : 45.
- Paris : 17, 18, 20, 21, 25, 34, 48, 53, 54, 55, 58, 59, 65, 66, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 80, 81, 83, 91, 93, 100, 101, 104, 106, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 133, 136, 137, 139, 140, 141, 142.
 Parisis : 26, 104, 105, 108, 112, 113, 114, 117, 123, 142.
 Parly : 76.
 Passy (sondage) : 18, 72.
 Pelles (sources de) : 76.
 Perthes (sondage) : 25.
 Petit-Morin : 119.
 Picardie : 25, 29, 49, 84, 90, 93, 95, 96, 98.
 Pithiviers : 124, 126, 127, 128.
 Poissy (sondage) : 55, 64, 72, 89, 136.
 Pontault-Combault : 62, 99, 107, 110.
 Pontoise : 62.
 Pont-de-l'Arche : 72.
 Pont-sur-Seine : 93.
 Pont-sur-Yonne (captages) : 88.
 Port-en-Bessin : 50, 51, 52.
 Pouilly-en-Auxois : 45.
 Pressagny : 73.
 Provins : 66, 121, 122.
 Puteaux : 133.
 Puisaye : 30, 53, 69, 73, 75, 77, 86, 90.
- Quatre-Carabines (sources des) : 52.
 Quenne : 41.
- Radicatel (fontaines) : 95.
 Rambouillet : 62, 119, 124, 126, 127, 129.
 Reims : 54, 68, 93.
 Remarde : 89, 99, 119, 138.
 Rethel : 53.
 Rhône (rivière) : 30.
 Rolleboise : 136.
 Romainville (marnes de) : 118, 125.
 Romilly-sur-Seine : 84.
 Rosny : 132.
 Rouen : 62, 65, 75, 79, 81, 83, 94, 98, 99, 132.
 Roumois : 99.
 Ru d'Andy : 41.
 Rungis : 17.
- Sacy (marais de) : 95.
 Saint-Denis (fosse) : 62, 71, 99, 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 138.
 Saint-Fargeau : 18, 66, 84.
 Saint-Florentin : 62.
 Saint-Germain : 72, 133, 136, 137.
 Saint-Illiers : 62, 68.
 Saint-Julien-le-Pauvre (église de) : 17.
 Saint-Léger-en-Yvelines : 119.
 Saint-Maur : 99.
 Sainte-Menehould : 72.
 Saint-Mesmes : 111.
 Saint-Ouen (calcaires de) : 103.
 Saint-Pierre-lès-Nemours : 25.
 Saône : 34, 36.
 Sausse (plaine de) : 42.
 Saulx : 46, 48.
 Seine (rivière) : 17, 18, 20, 27, 30, 34, 36, 41, 46, 53, 62, 64, 73, 84, 85, 88, 89, 90, 93, 96, 98, 99, 104, 105, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 119, 123, 124, 126, 128, 129, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 142 - (Basse-) : 27, 59, 66, 68, 69, 70, 73, 75, 99, 133, 137.
 Seine-et-Marne : 142.
 Seine-Maritime : 98.
 Seine-Saint-Denis : 142.

INDEX GÉOGRAPHIQUE

- Semézanges : 45.
 Sénart (Forêt de) : 129, 133.
 Senlis : 107.
 Sénonais : 25, 29, 81, 83, 84, 86, 87, 88.
 Sens : 85.
 Serein : 30, 34, 41.
 Serre : 95, 98.
 Seullès : 50, 51, 52.
 Soissons : 62.
 Soissonnais (région) : 25, 26, 85, 89, 100, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 114, 115, 117, 123, 124 - (argiles du) : 110 - (sables du) : 26, 27, 29, 103, 104, 106, 108, 111, 112, 113, 114, 126, 139.
 Sologne : 100.
 Somme (rivière) : 20, 66, 68, 96.
 Sotteville (sondage) : 18, 72.
 Soucy : 52.
 Sources-Hautes : 86.
 Suipe : 82, 136.

 Tancarville : 68, 69.
 Terre-Plaine : 30, 31, 32, 33, 34, 41, 50.
 Thaon (captage) : 52.
 Thelle (Pays de) : 105.
 Thennelière (sondage) : 72.

 Thérain : 98, 112.
 Thiérache : 96.
 Thue : 50.
 Toisy-le-Désert (source) : 33.
 Tonnerre : 40.
 Tonnerrois : 34.
 Tormanay : 41.
 Toucy : 87.
 Trappes : 129.
 Triel : 64.
 Troyes : 62, 84, 136.

 Urville : 50.

 Val-d'Oise : 142.
 Val-de-Marne : 142.
 Valentigney (sondage) : 72.
 Valois : 26, 103, 104, 117, 123.
 Vanne : 17, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90.
 Vendôme (sondage) : 72.
 Vernon : 62, 68, 69, 72.
 Vermenton : 34, 41.
 Vermicourt (source de) : 33.
 Vervins : 95.
 Versailles : 111.

 Vesles : 93, 136.
 Vexin : 26, 103, 104, 106, 108, 112, 113, 114, 142.
 Vigny : 99.
 Villardin : 93.
 Villefargeau : 42.
 Villiers-Saint-Georges : 112.
 Viosne : 110.
 Viry-Châtillon (sondage) : 64, 72, 114.
 Vitry-le-François : 136.
 Voise : 129, 130.
 Vosges : 20.
 Voulzie : 121, 122.
 Voutenay-sur-Cure (source) : 45.

 Wagram (avenue de) : 111.
 Wavans-Authie (sondage) : 72.
 Wœvre : 62.

 Yonne (rivière) : 30, 34, 41, 62, 66, 73, 84, 85, 87, 88, 90, 132, 136, 137, 138 - (région) : 18, 41, 64.
 Yport (fontaines) : 95, 96, 98.
 Yvelines : 114, 118, 119, 126, 128, 129, 131, 142.
 Yvette : 126.

BIBLIOGRAPHIE

A

- ABRARD R., 1952. — Observations sur la nappe des Sables verts albiens. *Bull. Museum nat. histoire nat.*, Paris, 2, 24, pp. 601-607.
- ALBINET M., 1967. — Carte hydrogéologique du bassin de Paris à l'échelle du 1/500 000. B. R. G. M.
- ARAGO, 1837. — Notice sur le filtrage des eaux et autres liquides par le procédé de la compagnie française, Paris.

B

- BELGRAND E., 1855. — Monographie des eaux de sources de la banlieue de Paris. De Dubuisson, Paris, 16 pages.
- BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (B. R. G. M.), 1970. — Atlas des eaux souterraines de la France.
- BUACHE, 1745. — Exposé d'un plan hydrographique de la ville de Paris. *Histoire de l'académie royale des sciences*, 1742 (parue en 1745), Paris, 371 pages.

C

- CASTANY G., 1960. — Quelques aspects nouveaux de l'hydrogéologie du bassin parisien. *Comptes rendus du Comité nat. français de Géodésie et de Géophysique*, Paris, 22 pages.
- CASTANY G., LAFFITTE P. et SOYER R., 1957. — Sur l'appauvrissement des eaux souterraines de l'Ile-de-France et en particulier de la nappe dite « du Soissonnais ». *Bull. soc. géologique de France*, Paris (6), t. VII, pp. 1035-1043.
- CLAIR A., 1966. — Esquisse hydrogéologique de la Bourgogne. *Terres et Eaux*, n° 48, pp. 2-20.

D

- DARCY, 1856. — Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau, Dalmont, Paris.
- DAUBRÉE, 1887. — Les eaux souterraines à l'époque actuelle. 2 vol., 190 pages et 302 pages.
— Les eaux souterraines aux époques anciennes. Rôle qui leur revient dans l'origine et les modifications de la substance de l'écorce terrestre, Dunod, Paris, 443 pages.

- DEGOUSSE et LAURENT, 1861. — Guide du sondeur ou traité théorique et pratique des sondages. Garnier Frères, 2 vol., Paris, 491 pages et 531 pages.
- DE LA HIRE, 1703. — Remarques sur l'eau de pluie et sur l'origine des fontaines avec quelques particularités sur la construction des citernes. *Mém. Acad. royale des sciences*, Paris, pp. 56-59.
- DELESSE, 1862. — Carte hydrogéologique du département de la Seine. Échelle : 1/25 000.
- DIENERT F., 1948. — Hydrologie souterraine du département de la Seine. *Publication de la Commission du bassin de la Seine*. Gauthiers-Villars, Paris, 29 pages.
- DIFFRE Ph., 1969. — Hydrogéologie de Paris et de sa banlieue. Thèse 3^e cycle, Paris, 344 pages.

H

- HABERT P., 1628. — Récit véritable des vertus et propriétés de l'eau minérale d'Auteuil à une lieue de Paris nouvellement découverte à la maison de M. le Président Broé. Pierre le Mur, Paris, 16 pages.
- HÉRICART DE THURY, 1828. — Considérations géologiques et physiques sur le gisement des eaux souterraines relativement au jaillissement des fontaines artésiennes et recherches sur les puits forés en France. *Soc. royale et centrale d'agriculture*, Paris.

I

- IMBEAUX Ed., 1930. — Essai d'hydrogéologie. Dunod, Paris, 704 pages.

K

- KOCH P. et VIBERT A., 1948. — Variation du niveau d'eau et de la pression ascensionnelle dans les puits, leur mesure et leur interprétation. *Public. Ass. intern. d'hydrologie scientifique*. Réunion d'Oslo, 19-28 août 1948, T. III, Commission eaux souterraines, pp. 57-65.

L

- LAFFITTE R. et RICOUR J., 1956. — La recherche minérale la plus importante de la France métropolitaine : l'eau. Rôle de l'hydrogéologie. *Rev. de l'Industrie minérale*, Paris, janvier, pp. 209-214.

- LAUVERJAT J., 1967. — a) Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de l'Albien dans le centre du bassin de Paris. Thèse 3^e cycle, Paris, 211 pages.
- LAUVERJAT J., 1967. — b) Historique des forages artésiens dans le bassin de Paris. *Chronique hydrogéologie*, n° 11, B. R. G. M., pp. 6-32.
- LAUVERJAT J., 1967. — c) Hydrogéologie de l'Albien dans le centre du bassin de Paris. *Chronique hydrogéologie*, n° 11, B. R. G. M., pp. 57-80.
- LEMOINE P., HUMERY R. et SOYER R., 1939. — Les forages profonds du bassin de Paris. La nappe artésienne des Sables verts. *Mém. Museum nat. histoire nat.*, nouvelle série, 11, Paris, 700 pages.

M

- MARGAT J., 1967. — Remarques sur les bilans d'eau des nappes captives. *Chronique hydrogéologie*, B. R. G. M., n° 11, pp. 125-126.
- MARGAT J., 1969. — Remarque sur la signification des surfaces piézométriques des nappes captives. *Chronique hydrogéologie*, n° 12, B. R. G. M., pp. 13-17.
- MARIOTTE, 1686. — Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides. Michallet, Paris, 408 pages.
- MAUGIS P., 1971. — Exploitation d'une nappe d'eau chaude souterraine pour le chauffage urbain dans la région parisienne. *Ann. des Mines*, mai, pp. 135-142.
- MÉGNIEU Cl., 1964. — Observations hydrogéologiques sur le Sud-Est du bassin de Paris. Les circulations aquifères dans le Jurassique et le Crétacé de l'Yonne. Thèse 3^e cycle, Paris et *Mém. B. R. G. M.*, n° 25, 287 pages.
- MÉGNIEU Cl. et collaborateurs, 1970. — Atlas des nappes aquifères de la région parisienne et notice explicative. B. R. G. M.
- MOYEN D. et ROGNON Ph., 1971. — Rejet dans les couches profondes d'eaux résiduaires industrielles. *Bull. B. R. G. M.*, section III, n° 2, pp. 3-7.

P

- PALISSY B., 1580. — Discours admirable des eaux et fontaines tant naturelles qu'artificielles, des métaux, des sels et salines, des pierres, des terres, des émaux. Martin le Jeune, Paris, 361 pages.
- PANETIER J.-M., 1969. — Processus d'alimentation de la nappe captive de l'Albien en Puisaye. Comptes rendus du Congr. national d'Hydrogéologie, *Mém. B. R. G. M.*, n° 76, pp. 583-591 et *Bull. B. R. G. M.*, section III, n° 3, pp. 67-70.
- PASCAUD P. et ROUX J.-C., 1969. — Les circulations karstiques dans les calcaires bajociens de la cuvette de Port-en-

Bessin (Calvados). Comptes rendus du Congrès national d'Hydrogéologie, *Mém. B. R. G. M.*, n° 76, pp. 645-662.

- Paysages géologiques de Paris à Avallon (A la découverte des), 1970. — B. R. G. M., 1 carte et notice.
- PERRAULT P., 1674. — L'origine des fontaines. Pierre le Petit, Paris, 353 pages. En anglais : Origin of springs. Traduction et notes, A. Laroque.
- POMEROL Ch., 1967. — Esquisse paléogéographique du bassin de Paris à l'ère tertiaire et aux temps quaternaires. *Rev. Géologie Dynamique*, 2, vol. IX, fasc. 1, Paris, pp. 55-56.
- POMEROL Ch. et FEUGUEUR L., 1968. — Guides géologiques régionaux. Bassin de Paris-Ile-de-France. Masson, Paris, 174 pages.

R

- RAT P., 1972. — Guides géologiques régionaux. Bourgogne-Morvan. Masson, Paris, 174 pages.
- ROUX J.-Cl., 1963. — Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de la Somme. Thèse 3^e cycle, Paris, 509 pages.

S

- SAROCCHI Cl. et LEVY-LAMBERT H., 1966. — La nappe de l'Albien dans le bassin de Paris. *Annales des Mines*, Paris.
- SAROCCHI Cl. et LEVY-LAMBERT H., 1967. — La nappe aquifère de l'Albien dans le bassin de Paris. *Chronique d'hydrogéologie*, B. R. G. M., n° 11, pp. 33-36.
- SOYER R., 1953. — Géologie de Paris. Imprimerie nationale, Paris, 610 pages.
- SOYER R. et CAILLEUX A., 1964. — Géologie de la région parisienne. Presses univ. de France, Que sais-je?, Paris, 128 pages.

V

- VIBERT A., 1937. — Hydrogéologie et hydrodynamique des nappes albiennes du bassin de Paris. *Le Génie civil*, 61, n° 11, Paris, pp. 224-226.
- VIBERT A., 1938. — Le comportement des nappes profondes du bassin parisien. *La Technique Sanitaire et Municipale*, 33, pp. 45-49.
- VUILLAUME Y., 1971. — Utilisation des méthodes isotopiques en hydrogéologie. Application à l'étude de la nappe de l'Albien dans le bassin de Paris. Thèse 3^e cycle, Paris, 108 pages.

