

Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France

Partie 1 - Atlas hydrogéologique

Rapport final

BRGM/RP-53306-FR
mai 2005

Étude réalisée dans le cadre
d'une Convention ADEME-EDF-BRGM n° 03 31 CO499
et d'une Convention ARENE-BRGM n° 2004-MLFM-8-8406

S. Schomburgk, Ch. Gateau, O. Goyénèche
Avec la collaboration de
J.F. Vernoux, L. Denis

Vérificateur :

Original signé par :

Nom : A. DESPLAN

Date :

Signature :

Approbateur :

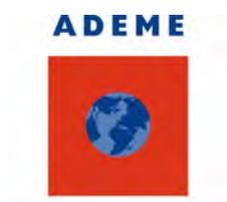
Original signé par :

Nom : J.F. VERNOUX

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Guide d'aide à la décision, Atlas hydrogéologique, Aquifères, Piézométrie, Épaisseur mouillée, Température, Perméabilité, Hydrochimie, Transmissivité, Débits spécifiques et moyens, Oligocène, Éocène Supérieur, Éocène Moyen et Inférieur, Craie, Calcaires, Sables, Ile-de-France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Schomburgk S., Goyénèche O. et al. (2004) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France - Atlas hydrogéologique - BRGM/RP-53306-FR, 94 p., 10 fig., 28 cartes, 31 pl. h.t. - rapport du Bureau d'étude ALTO INGENIERIE (volume séparé).

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le projet de « *Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France* » a été contractualisé entre l'ADEME, EDF et le BRGM par la signature de la convention n° 03 31 CO499, notifiée le 29 décembre 2003. L'ARENE Ile-de-France apporte également une contribution à ce travail à travers la convention n° 2004-MLFM-8-8406 qu'elle a signée avec le BRGM le 7 mai 2004.

Ce guide, à réaliser dans un délai de 16 mois à compter du 01/01/2004, consistera en un Système Informatisé Géographique (SIG) livré sur CD-ROM aux partenaires. Trois phases principales sont prévues dans le cahier des charges :

- une analyse hydrogéologique de la zone concernée (partie 1 du rapport) ;
- une analyse des modes d'utilisation de l'énergie thermique extraite des aquifères, à travers l'examen des différentes solutions techniques et de leur intérêt respectif, pour la réalisation d'opérations de pompes à chaleur en région Ile-de-France et plus spécialement dans les trois filières retenues dans la convention : les hypermarchés, les bâtiments de bureau et les hôpitaux et cliniques (partie 2 du rapport).

C'est le bureau d'étude ALTO-Ingénierie qui assure cette phase, en sous-traitance pour le BRGM ;

- la mise en place du SIG lui-même, comprenant, les résultats de la partie 1 ci-dessus.

Ce guide, destiné aux acteurs locaux du développement urbain et de l'aménagement du territoire, est un outil pratique d'aide dans les choix de solutions thermiques envisageables pour les hypermarchés, les bâtiments de bureaux et les hôpitaux et cliniques. En effet, la région souhaite augmenter la contribution de la géothermie dans les différentes filières de l'activité économique. La technologie des pompes à chaleur sur nappe offre en enjeu prometteur du développement des énergies renouvelables en Ile-de-France, dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques et la future loi de programmation énergétique.

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 9 |
| 2. Méthodologie d'étude de l'exploitabilité des aquifères | 11 |
| 3. Synthèse des connaissances hydrogéologiques | 15 |
| 3.1. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'OLIGOCÈNE | 24 |
| 3.1.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Oligocène | 24 |
| 3.1.2. Construction des cartes d'isoprofondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère multicouche de l'Oligocène | 26 |
| 3.1.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Oligocène (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1 | 30 |
| 3.1.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Oligocène répondant au critère n° 2 | 32 |
| 3.1.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Oligocène répondant au critère n° 3 | 34 |
| 3.2. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR | 36 |
| 3.2.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Éocène supérieur..... | 36 |
| 3.2.2. Construction des cartes d'isoprofondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère de l'Éocène supérieur..... | 38 |
| 3.2.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Éocène supérieur (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1 | 42 |
| 3.2.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Éocène supérieur répondant au critère n° 2 | 44 |
| 3.2.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Éocène supérieur répondant au critère n° 3 | 46 |
| 3.3. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE MOYEN ET INFÉRIEUR | 48 |
| 3.3.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Éocène moyen et inférieur | 48 |
| 3.3.2. Construction des cartes d'isoprofondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère multicouche de l'Éocène moyen et inférieur | 49 |
| 3.3.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1 | 52 |
| 3.3.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur répondant au critère n° 2 | 54 |

| | |
|--|------------|
| 3.3.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur répondant au critère n° 3..... | 56 |
| 3.4. AQUIFÈRE DE LA CRAIE | 58 |
| 3.4.1. Caractéristiques de l'aquifère de la Craie..... | 58 |
| 3.4.2. Construction des cartes d'isop profondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère de la Craie | 60 |
| 3.4.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de la Craie (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1 | 64 |
| 3.4.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de la Craie répondant au critère n° 2..... | 66 |
| 3.4.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de la Craie répondant au critère n° 3..... | 68 |
| 4. Étude de l'exploitabilité des aquifères..... | 71 |
| 4.1. NOTION DE TRANSMISSIVITÉ - APPROCHE DE LA PRODUCTIVITÉ DES AQUIFÈRES..... | 71 |
| 4.2. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'OLIGOCÈNE..... | 73 |
| 4.2.1. Calcaires de Brie | 73 |
| 4.2.2. Aquifère de l'Oligocène | 73 |
| 4.3. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR..... | 76 |
| 4.4. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE MOYEN ET INFÉRIEUR..... | 78 |
| 4.5. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE DE LA CRAIE..... | 81 |
| 4.6. CARTES DES DEBITS POTENTIELS DES QUATRE AQUIFERES MULTICOUCHE..... | 84 |
| 5. Cartes d'exploitabilité des quatre aquifères multicouches | 93 |
| 6. Conclusion | 99 |
| Bibliographie | 101 |
| Annexe 1 - Guide d'utilisation des cartes (planches) thématiques pour chacun des quatre aquifères multicouche de l'étude..... | 103 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1 - Coupe géologique nord est-sud ouest de la région Ile-de-France. | 15 |
| Fig. 2 - Série litho-stratigraphique de la région Ile-de-France (source BRGM/RGF)... | 17 |
| Fig. 3 - Répartition géographique des quatre aquifères multicouches de l'étude. | 18 |
| Fig. 4 - Analyse statistique des températures moyennes par type d'aquifère. | 22 |
| Fig. 5 - Statistique des températures en fonction de la profondeur entre 0 et 100 m en Ile-de-France | 23 |
| Fig. 6 - Statistique des températures mensuelles de l'eau d'un aquifère donné en Ile-de-France. | 24 |
| Fig. 7 - Coupe géologique schématique est-ouest du Bassin parisien d'après Claude Mégnien. | 36 |
| Fig. 8 - Isopièze du Champigny (rose). Exutoire de la nappe (jaune), pertes en rivière (hachuré bleu)..... | 38 |
| Fig. 9a - La Plaine Saint-Denis en 1970 : « creux » piézométrique créé par les pompages depuis 1830. | 48 |
| Fig. 9b - Évolution du niveau de la nappe de l'Éocène Moyen et Inférieur de 1977 à 2004..... | 48 |
| Fig. 10 - Répartition statistique des débits maximums obtenus par échantillonnage pour chaque formation aquifère..... | 72 |

Liste des cartes

| | |
|---|----|
| Aquifère de l'Oligocène. Isoprotecteurs du toit des sables de Fontainebleau en m..... | 28 |
| Aquifère de l'Oligocène. Isoprotecteurs du toit des marnes vertes en m..... | 29 |
| Aquifère de l'Oligocène. Profondeur de la nappe (en m) | 31 |
| Aquifère de l'Oligocène. Épaisseur de la nappe (en m) | 33 |
| Aquifère de l'Oligocène. Géochimie (TH, Ca, Cl, SO ₄ , Mg)..... | 35 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Isoprotecteurs du mur des marnes vertes en m..... | 39 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Isoprotecteurs du toit du Lutétien en m..... | 40 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Profondeur de la nappe (en m) | 43 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Épaisseur de la nappe (en m) | 45 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Géochimie (TH, CA, CL, SO ₄ , Mg) | 47 |
| Aquifère de l'Éocène moyen et inférieur. Isoprotecteurs du toit du Lutétien en m..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Aquifère de l'Éocène moyen et inférieur. Isoprofondeurs du mur du Sparnacien en m..... | 51 |
| Aquifère de l'Éocène inférieur et moyen (EMI). Profondeur de la nappe (en m) | 53 |
| Aquifère de l'Éocène inférieur et moyen (EMI). Épaisseur de la nappe (en m) | 55 |
| Aquifère de l'Éocène inférieur et moyen (EMI). Géochimie (TH, Ca, Cl, SO4, Mg)..... | 57 |
| Aquifère du Crétacé supérieur. Isoprofondeurs du toit de la Craie en m..... | 61 |
| Aquifère du Crétacé supérieur. Isoprofondeurs du mur de la Craie en m | 62 |
| Aquifère de la Craie. Profondeur de la nappe en m..... | 65 |
| Aquifère de la Craie. Épaisseur de la nappe (en m) | 67 |
| Aquifère de la Craie. Géochimie (TH, Ca, Cl, SO4, Mg)..... | 69 |
| Aquifère de l'Oligocène. Transmissivité..... | 75 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Transmissivité..... | 77 |
| Aquifère de l'Éocène inférieur et moyen (EMI). Transmissivité | 80 |
| Aquifère de la Craie. Transmissivité | 83 |
| Aquifère de l'Oligocène. Exploitabilité..... | 86 |
| Aquifère de l'Éocène supérieur. Exploitabilité..... | 87 |
| Atlas hydrogéologique pour l'exploitabilité des aquifères en vue de l'installation de forages pour pompe à chaleur : aquifère de l'Éocène moyen et inférieur (EMI)..... | 88 |
| Aquifère de la Craie. Exploitabilité | 89 |

1. Introduction

Le présent rapport correspond au volet 1 de l'étude pour la réalisation d'un « *Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France* », tel que prévu dans les conventions n° 03 31 CO499 entre ADEME, EDF et BRGM et n° 2004-MLFM-8-8406 entre l'ARENE Ile-de-France et le BRGM.

Il traite de l'« Analyse hydrogéologique ».

Ce premier volet est la synthèse et l'analyse des connaissances hydrogéologiques en vue de l'évaluation des ressources aquifères disponibles dans les 100 premiers mètres du sous-sol de la région Ile-de-France.

Quatre grands aquifères ont été retenus : l'Oligocène, l'Éocène supérieur, l'Éocène moyen et inférieur et le Crétacé supérieur. Ces aquifères multicouches sont composés chacun de plusieurs aquifères.

Cinq critères, définis contractuellement, ont été analysés puis appliqués à chacune des quatre formations retenues :

- la profondeur de la nappe ;
- l'épaisseur de la nappe ;
- l'hydrochimie de la nappe ;
- la transmissivité de l'aquifère ;
- la température.

Le croisement des résultats obtenus pour chaque critère aboutit à la fourniture d'une carte d'exploitabilité pour chacune des quatre formations sur l'ensemble de la région Ile-de-France.

2. Méthodologie d'étude de l'exploitabilité des aquifères

La mise en évidence de l'exploitabilité des quatre aquifères multicouches détaillés dans les chapitres suivants constitue la base du guide d'aide à la décision pour le développement d'opérations de pompes à chaleur sur nappe aquifère en Ile-de-France.

En effet, au stade de la pré-faisabilité d'un projet, le maître d'ouvrage doit pouvoir déterminer la puissance thermique que pourra délivrer un forage réalisé au droit du projet et ainsi vérifier l'apport de l'énergie de sous-sol pour la satisfaction des besoins de chauffage et de rafraîchissement du bâtiment en projet.

Il s'agit alors de déterminer, de façon cartographique, c'est-à-dire simple d'emploi, la productivité des aquifères disponibles au droit du projet et de préciser quel est alors le meilleur aquifère tant sur le plan technique (puissance disponible en terme de débits et température) qu'économique (la profondeur de l'aquifère a des conséquences immédiates sur le coût des forages et donc du projet).

Pour parvenir à ce résultat qualifié d'« exploitabilité » de l'aquifère, il a été procédé à la réalisation d'une carte finale par aquifère qui croise l'ensemble des critères cartographiés dans les chapitres suivants, en affectant à chacun d'entre eux le coefficient de pondération qui paraît le plus pertinent pour parvenir à une classification aussi précise que possible :

- en ce qui concerne le critère de **profondeur de la nappe**, les coefficients de pondération ont été affectés comme suit :
 - . pour une profondeur de 0 à 5 m : intérêt nul à faible - valeur du coefficient **1**,
 - . pour une profondeur de 5 à 25 m : intérêt fort - valeur du coefficient **3**,
 - . pour une profondeur de 25 à 50 m : intérêt moyen - valeur du coefficient **2**,
 - . pour une profondeur > à 50 m : intérêt faible - valeur du coefficient **1** ;
- en ce qui concerne le critère d'**épaisseur saturée de l'aquifère**, les coefficients de pondération ont été affectés comme suit :
 - . pour une épaisseur de 0 à 5 m : intérêt nul à faible - valeur du coefficient **1**,
 - . pour une épaisseur de 5 à 20 m : intérêt moyen - valeur du coefficient **2**,
 - . pour une épaisseur supérieure à 20 m : intérêt fort - valeur du coefficient **3** ;
- en ce qui concerne le critère de **transmissivité de l'aquifère**, les coefficients de pondération ont été affectés comme suit :
 - . pour une transmissivité de 10^{-5} à 10^{-3} m²/s : intérêt nul à faible - valeur du coefficient **1**,
 - . pour une transmissivité de 10^{-3} à 10^{-2} m²/s : intérêt moyen - valeur du coefficient **2**,
 - . pour une transmissivité supérieure à 10^{-2} m²/s : intérêt fort - valeur du coefficient **3** ;

- en ce qui concerne le critère **d'hydrochimie** de la nappe, les coefficients de pondération ont été affectés comme suit :
 - . pour une eau peu à moyennement minéralisée et de dureté inférieure à 22°f : valeur du coefficient **3**,
 - . pour une eau moyennement à fortement minéralisée et de dureté comprise entre 22°f et 32°f : valeur du coefficient **2**,
 - . pour une eau fortement minéralisée et de dureté supérieure à 32°f : valeur du coefficient **1**.

Cinq classes d'intérêt en terme d'exploitabilité d'un aquifère ont ainsi été retenues qui vont de la valeur « très faible exploitabilité » (la couleur rouge a été symboliquement attribuée à cette valeur) à « très forte exploitabilité » (la couleur bleu foncé a été attribuée à cette valeur) en passant par trois valeurs intermédiaires : faible (jaune), moyenne (vert) et forte (bleu) exploitabilité.

Un premier avertissement doit être présenté à ce niveau de l'analyse multicritères. En effet, du point de vue de l'exploitabilité d'un aquifère, le débit spécifique (débit par mètre de forage) ou moyen (débit moyen pouvant être obtenu par un puits captant l'aquifère) est le critère primordial dans la région Ile-de-France si on considère la conclusion du paragraphe dédié à la température (voir critère n° 5 en préambule du chapitre 3 ci-après). Or chacun sait bien que la notion d'exploitabilité très faible sur une zone déterminée ne signifie pas que la réalisation d'un forage ayant pour cible l'aquifère considéré conduira à un débit nul. En d'autres termes, il est possible d'obtenir un débit de 1 à 5 m³/h dans une zone classée en très faible exploitabilité, qui peut être suffisant pour un projet de taille individuelle. Il s'agira alors de décider en fonction des autres critères ayant servi à la construction multicritère qui n'influent pas sur la productivité de l'aquifère mais plutôt sur le coût du projet, comme la profondeur de l'aquifère (coût d'investissement) et l'hydrochimie (coûts d'investissement et d'exploitation).

Pour la construction des cartes d'exploitabilité présentées au chapitre 5 pour chacun des quatre aquifères multicouches, la méthode suivante a été employée :

- chacune des cartes thématiques a été découpée selon trois valeurs hiérarchiques de poids affectées d'un coefficient de 1 à 3 ;
- la transmissivité, qui permet d'approcher la notion de productivité de l'aquifère et de faire un lien plus précis avec les débits attendus, vient s'associer à l'épaisseur de l'aquifère dans le croisement multicritère des données pour conférer un poids prépondérant à la productivité en regard d'autres critères moins fondamentaux comme la profondeur et l'hydrochimie ;
- les valeurs de transmissivité présentent, d'une façon générale, un degré d'incertitude lié à la variabilité d'éléments dans la réalisation du forage où elles ont été mesurées (essais de puits). Ainsi, selon la géométrie du puits, selon que l'aquifère qu'il capte a été correctement développé ou non, selon que le puits capte ou non la totalité des niveaux producteurs de l'aquifère, la mesure de la transmissivité conduira à des résultats sensiblement différents.

En d'autres termes, il importe d'attirer l'attention de l'utilisateur final sur le fait que les limites des zones de transmissivité ne sont pas à considérer comme des frontières précises, mais comme des plages affectées d'un certain pourcentage d'erreur. Cette constatation fondamentale milite pour qu'un projet fasse l'objet d'une étude de faisabilité détaillée avant le lancement de sa réalisation.

C'est également pourquoi, les cartes de transmissivité et d'hydrochimie seront réalisées à la seule échelle 1/500 000 dans le rapport final afin de ne pas induire en erreur l'utilisateur final avec une échelle supérieure de 1/250 000, sans fondement avec le degré de fiabilité des valeurs disponibles.

Le tableau ci-après résume les coefficients de pondération des critères utilisés pour parvenir au découpage des classes d'exploitabilité des cartes :

| Exploitabilité | Transmissivité | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
|--|-----------------------|---|------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | |  très faible | Epaisseur | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
|  faible | Profondeur | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|  moyenne | Hydrochimie | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|  forte | Exploitabilité | 4 | 7 | 10 | 5 | 8 | 11 | 6 | 9 | 12 |
|  très forte | | | | | | | | | | |

3. Synthèse des connaissances hydrogéologiques

Cette première partie de l'étude consiste en une synthèse des connaissances hydrogéologiques en vue de l'évaluation des ressources aquifères disponibles dans la tranche des terrains située approximativement entre 0 et 100 m sous le sol de la région Ile-de-France.

L'objectif de ce travail est de parvenir à une présentation cartographique synthétique des formations aquifères sélectionnées de façon à permettre à un décideur, non-spécialiste en hydrogéologie, de vérifier l'intérêt du choix géothermique au droit du projet dont il a la charge.

Ainsi que présenté sur la coupe schématique des quatre principales formations aquifères retenues dans le cadre de l'étude (fig. 1), la géologie du bassin de Paris est relativement complexe dans la mesure où les nappes contenues dans chaque formation ne s'étendent pas à l'ensemble du volume disponible.

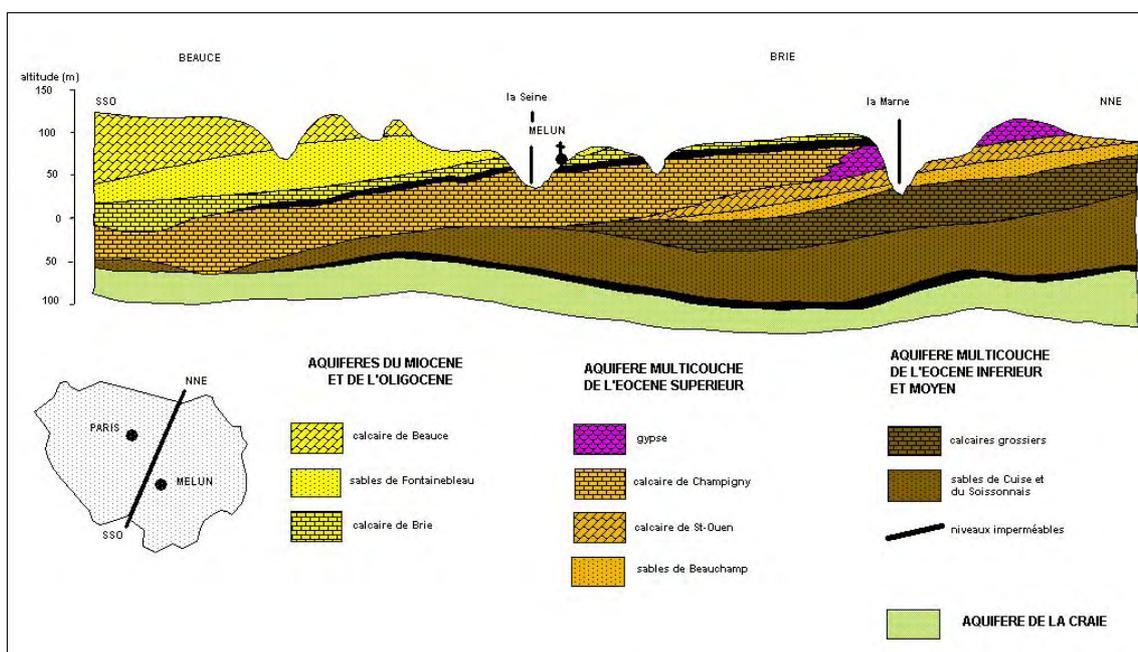


Fig. 1 - Coupe géologique nord est-sud ouest de la région Ile-de-France.

C'est pourquoi les passages latéraux de faciès perméables à d'autres imperméables (dans certains cas, l'amincissement ou la disparition d'un substratum imperméable séparant naturellement deux formations aquifères peuvent les mettre ponctuellement en communication) conduisent à utiliser de façon continue chaque niveau piézométrique déterminant une nappe. Sur le bassin, cette nappe peut être contenue

latéralement dans divers niveaux géologiques successifs (fig. 1). On parle alors d'aquifère multicouche.

Les quatre aquifères multicouches suivants, du moins profond au plus profond (voir fig. 2) ont été étudiés :

- l'aquifère multicouche de l'OLIGOCÈNE (-23 à -35 Ma) composé des Calcaires de Beauce, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie. Cette grande formation aquifère est limitée en partie inférieure par les formations imperméables des Marnes Vertes d'âge Sannoisien ainsi que par les Marnes supra gypseuses, (Marnes de Pantin, et Marnes, d'Argenteuil) toutes d'âge Bartonien Supérieur ;
- l'aquifère multicouche de l'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR (-35 à -42 Ma) composé du Calcaire de Champigny, des Sables de Montceau, des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp. Cette grande formation aquifère est limitée en partie inférieure par les formations semi-imperméables des Marnes et Caillasses d'âge Lutétien supérieur, sous-étage de l'Éocène Supérieur ;
- l'aquifère multicouche de l'ÉOCÈNE MOYEN et INFÉRIEUR (-42 à -60 Ma) composé du Calcaire Grossier du Lutétien inférieur, des Sables de Cuise et des Sables du Soissonnais. Cette grande formation aquifère est limitée en partie inférieure essentiellement par les formations imperméables des Argiles plastiques du Sparnacien (Éocène inférieur) ;
- l'aquifère de la CRAIE d'âge Sénonien du Crétacé supérieur (-74 à -83 Ma), formation très épaisse, exploitable uniquement dans les parties affleurantes.

Remarque : La convention cadre prévoyait de retenir comme formation aquifère à étudier, les alluvions d'âge quaternaire que l'on trouve essentiellement dans les vallées de la Seine, de la Marne, de l'Yonne et de l'Oise.

Compte tenu du caractère extrêmement vulnérable de ces formations (formations réduites soumises aux aléas climatiques de productivité et sensibles aux effets de pollutions dus à l'activité humaine) et de leur niveau sub-affleurant peu adapté, nous avons pris le parti de ne pas considérer ces formations comme des objectifs de développement pour les pompes à chaleur sur nappe aquifère et de leur préférer l'aquifère plus profond de la Craie, souvent associé aux alluvions lorsqu'il est productif.

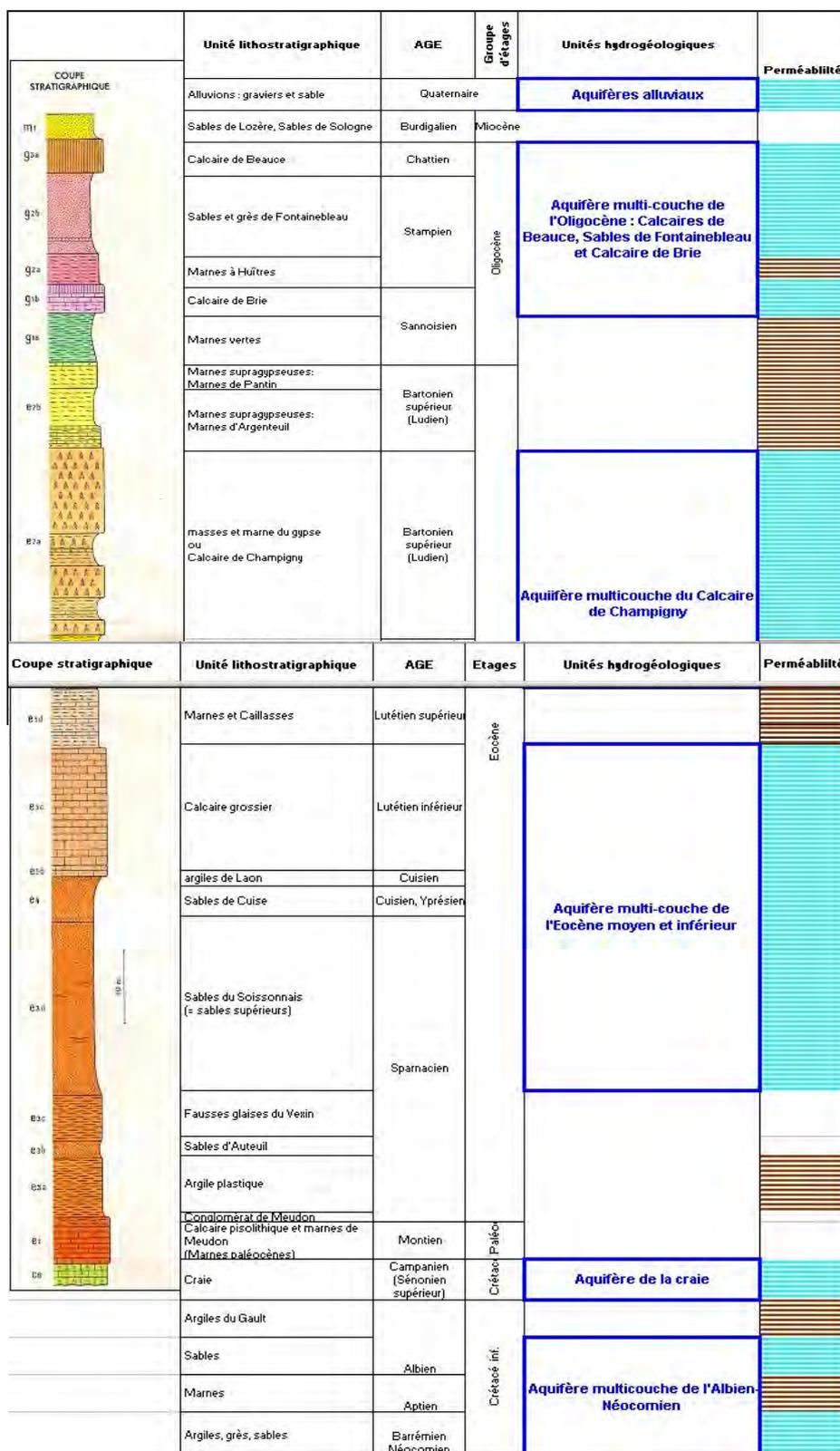


Fig. 2 - Série litho-stratigraphique de la région Ile-de-France (source BRGM/RGF).

Dans un cadre général, les quatre aquifères multicouches se répartissent géographiquement sur la région Ile-de-France comme présenté sur la figure 3 ci-dessous :

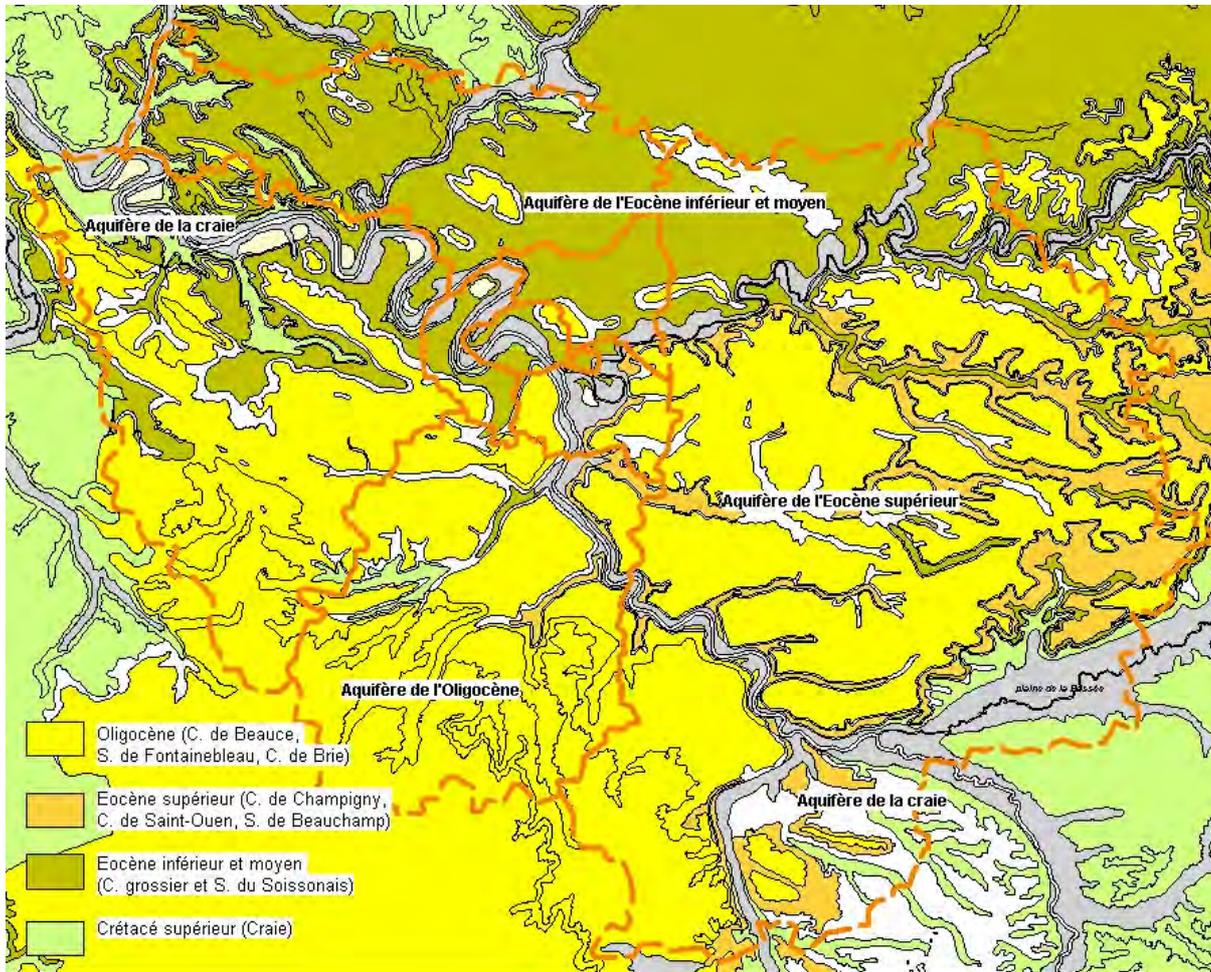


Fig. 3 - Répartition géographique des quatre aquifères multicouches de l'étude.

Les travaux cartographiques présentés dans les paragraphes qui suivent ont été réalisés à partir des cartes hydrogéologiques existantes en affinant les résultats à la lumière des informations issues de différentes sources de données récentes.

Chaque formation aquifère est présentée sous forme de sept cartes. Les deux premières présentent les cotes du toit et du mur (isoprofondeurs) de chacune des formations géologiques contenant l'aquifère, les quatre suivantes correspondent à l'un des quatre critères décrits ci-dessous, la septième correspond au croisement de l'ensemble de ces critères affectés respectivement des coefficients de pondération décrits ci-avant, afin de représenter les cinq zones d'exploitabilité de chaque aquifère.

- **Critère n° 1 : La profondeur de la nappe**

La profondeur de la nappe, autrement dit : « toit de la surface piézométrique », est la profondeur par rapport à la surface topographique à laquelle on rencontre l'eau de l'aquifère considéré. Les valeurs servant à la construction de la carte sont obtenues par différence entre les côtes topographiques et les côtes piézométriques de l'aquifère.

Cette étude prend en compte des cartes piézométriques existantes qui ont été élaborées lors d'études par aquifère et par zone géographique. Les différentes sources de données accessibles au sein du BRGM ont été analysées et choisies en fonction de critères d'homogénéité, de continuité et de concordance en regard des différentes connaissances.

Afin d'établir des cartes piézométriques continues par aquifères, les différentes cartes ont été raccordées et sur leurs limites harmonisées et/ou complétées à partir des niveaux d'eau ponctuelle et par d'autres cartes piézométriques existantes. Les données peuvent dater de différentes périodes et peuvent alors intégrer autant des basses eaux que des moyennes eaux.

Il va sans dire que ce critère est d'importance puisqu'il déterminera le coût du forage à réaliser pour capter l'aquifère en un point donné du territoire régional.

Dans les chapitres qui suivent, les cartes réalisées correspondant à ce critère sont réalisées pour des nappes libres. Dans le cas de nappes ou de portions de nappe captives, la profondeur estimée à partir de la piézométrie peut-être inférieure à celle du toit réel de l'aquifère (niveau statique atteint en cas de forage).

- **Critère n° 2 : L'épaisseur de la nappe**

Il s'agit de l'**épaisseur mouillée** de la formation aquifère, c'est-à-dire de la hauteur moyenne de la zone noyée située sous la surface piézométrique de l'aquifère. Les valeurs servant à la construction de la carte sont obtenues par différence entre les côtes piézométriques et les côtes du mur de l'aquifère (qui est aussi le toit du substratum imperméable).

La construction de cartes correspondantes a été réalisée à partir des relevés existants élaborés lors d'études hydrogéologiques sur les aquifères. Elles ont ici été raccordées sur leurs limites et harmonisées ou complétées. Il faut prendre en compte que cette épaisseur mouillée intègre également les intercalations de couches peu perméables qui ne peuvent pas être définies en épaisseur du fait de la forte variabilité de la lithologie en Ile-de-France. Ces intercalations imperméables au sein des aquifères multicouches peuvent être considérées comme peu importantes par rapport à l'épaisseur des couches perméables.

Ce critère est un des critères techniques fondamentaux dans l'estimation de la productivité d'un aquifère puisqu'il permettra d'approcher le débit exploitable pour un rabattement donné.

L'aquifère de la Craie est traité différemment du fait de son comportement singulier. En effet, cet aquifère dispose d'une double porosité dont seule la porosité de fissuration permet un écoulement important, notamment dans les zones faillées. Cette fissuration atteint une épaisseur maximale de 60 m sous les vallées et d'environ 30 m sous les plateaux.

Aux profondeurs les plus importantes, la perméabilité est très faible. Sous les formations tertiaires de l'Ile-de-France, la nappe devient captive et très peu productive (voir chapitre 4.4. consacré à la productivité de la Craie).

- **Critère n° 3 : L'hydrochimie de la nappe**

La nature chimique de l'eau contenue dans l'aquifère est déterminée à partir des éléments disponibles, soit de façon ponctuelle, en utilisant des points contenus dans la base ADES (accès aux données des eaux souterraines) gérée par le BRGM, soit à partir de la délimitation des principales provinces hydrochimiques issues de l'Atlas des nappes aquifères de 1970.

Enfin, l'étude publiée par Claude Mégrien en 1979 a permis la réalisation d'une distinction latérale des principaux faciès hydrochimiques reconnus.

Ce qui est recherché dans le cadre de la présente étude n'est pas la qualité de l'eau en regard des normes de potabilité en vigueur puisque l'objectif d'utilisation est uniquement thermique avec prélèvement et rejet dans la même formation aquifère. Les paramètres retenus sont donc à associer à l'exploitabilité des eaux en regard des coûts de maintenance et d'entretien des matériels d'exploitation, c'est-à-dire en fonction du pouvoir corrosif ou incrustant des fluides exploitables.

Ces paramètres sont :

- le Titre Hydrotimétrique ou Dureté de l'eau (exprimé en degré français) qui indique le pouvoir incrustant de l'eau exploitée ;
- la concentration en Calcium (Ca, exprimée en mg/l), en Sulfates (SO₄, exprimée en mg/l) et en Magnésium (Mg, exprimée en mg/l) qui témoignent également des capacités de générer des dépôts par les fluides exploités ;
- la concentration en Chlorures (Cl, exprimée en mg/l) qui indique le pouvoir corrosif de l'eau notamment en direction des aciers inoxydables.

- **Critère n° 4 : La transmissivité de l'aquifère**

La transmissivité d'un aquifère (symbolisée par la lettre T en hydrogéologie), mesurée lors des essais de pompage dans un puits, permet aux hydrogéologues de calculer la perméabilité (K) de cet aquifère en divisant la transmissivité par l'épaisseur mouillée (critère n° 2 ci-dessus).

Les données de transmissivité ponctuelles étant très variables et, par voie de conséquence difficilement comparables, en raison de la structure de réalisation des forages dans lesquels elles ont été mesurées, une sectorisation reste une approche

qui demande des vérifications ponctuelles (étude de faisabilité d'un projet). C'est pour cette raison que la transmissivité est recroisée avec l'épaisseur de la nappe, généralement bien connue, pour la réalisation des cartes d'exploitabilité. Ces critères bien que partiellement redondants (transmissivité et épaisseur mouillée), permettent de lisser la forte variabilité des valeurs de transmissivité.

Ce critère est également fondamental du point de vue technique en matière d'exploitabilité d'un réservoir puisqu'il existe un lien direct avec le débit spécifique exploitable.

Les données ayant servi à l'élaboration de cette carte pour chacun des quatre aquifères proviennent de la base de données du Service géologique régional d'Ile-de-France (BRGM) et des cartes issues de l'Atlas des nappes aquifères d'Ile-de-France publié en 1970, l'ensemble corrigé à partir des données récentes extraites de la base de données ponctuelles.

Pour fixer les idées, le tableau suivant, réalisé par l'U.S. Geological Survey, présente quelques caractéristiques de perméabilités de sédiments meubles (roches détritiques) :

| Degré de perméabilité | Type de sédiments | Perméabilité en m/s |
|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Très bonne | Gravier moyen | $3 \cdot 10^{-1}$ |
| | Sable grossier | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| | Sable moyen | $6 \cdot 10^{-4}$ |
| | Sable fin | $7 \cdot 10^{-4}$ |
| Mauvaise | Sable très fin | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| | Silt | $3 \cdot 10^{-8}$ |
| Nulle | Argile | $5 \cdot 10^{-10}$ |

Pour les roches à porosité de fissure (calcaires, craie) les valeurs de perméabilité sont extrêmement variables.

- **Critère n° 5 : La température**

Avec la productivité des aquifères, c'est-à-dire la transmissivité qui conduit aux débits moyen ou spécifique, la température du fluide exploité est le dernier critère fondamental nécessaire au calcul de l'énergie thermique fournie à l'évaporateur de la pompe à chaleur et donc participant à la détermination de la puissance de l'ensemble du système.

Or, l'analyse de mesures de température recueillies dans les diverses bases et études utilisées montre que celles-ci ne dépendent pas du type des aquifères retenus, à la différence avec les autres critères ci-dessus.

Ainsi, dans le graphique ci-dessous (fig. 4), construit à partir de mesures statistiques de température relevées dans les différents aquifères de la zone considérée (à l'exception de l'aquifère de l'Albien à l'extrême gauche du graphique qui ne fait pas l'objet de la présente étude), on constate que les **températures moyennes** ont une variabilité de 11,9 à 12,5 °C entre les aquifères les plus « froids » (Éocène supérieur et Calcaires de Brie de l'Oligocène) et le plus « chaud » (Craie).

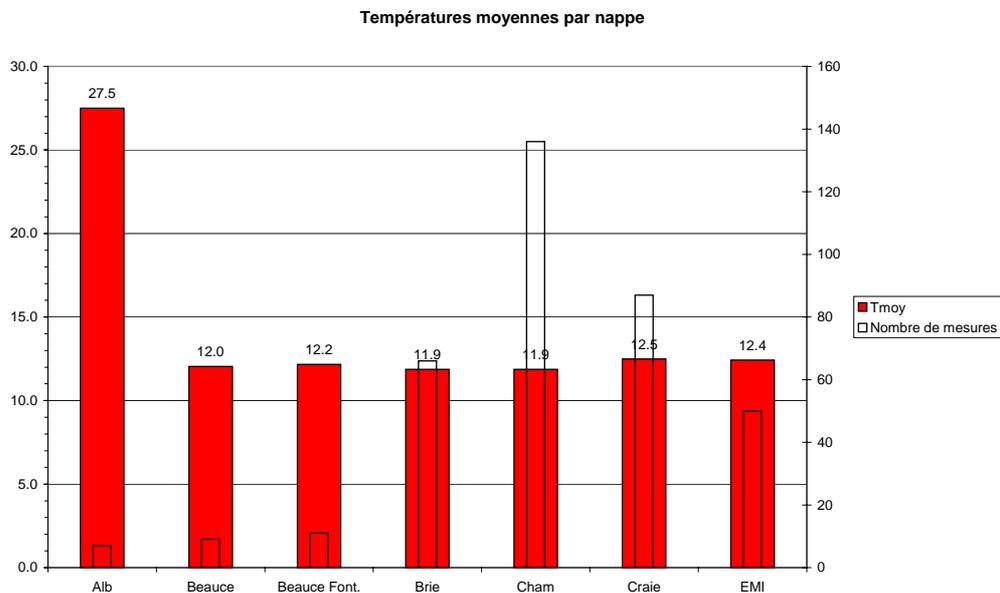


Fig. 4 - Analyse statistique des températures moyennes par type d'aquifère.

Nous avons donc admis que la température moyenne est de l'ordre de 12 °C de façon constante, quel que soit l'aquifère considéré pour des profondeurs inférieures à 100 m.

Une analyse statistique identique menée, non plus sur les températures moyennes par aquifère mais en fonction de la profondeur montre (fig. 5) qu'au-delà d'une profondeur de 10 m, les températures, **quelle que soit la profondeur jusqu'à 100 m**, sont comprises entre 10,5 et 13 °C, ce qui confirme la moyenne de 12 °C environ retenue ci-dessus.

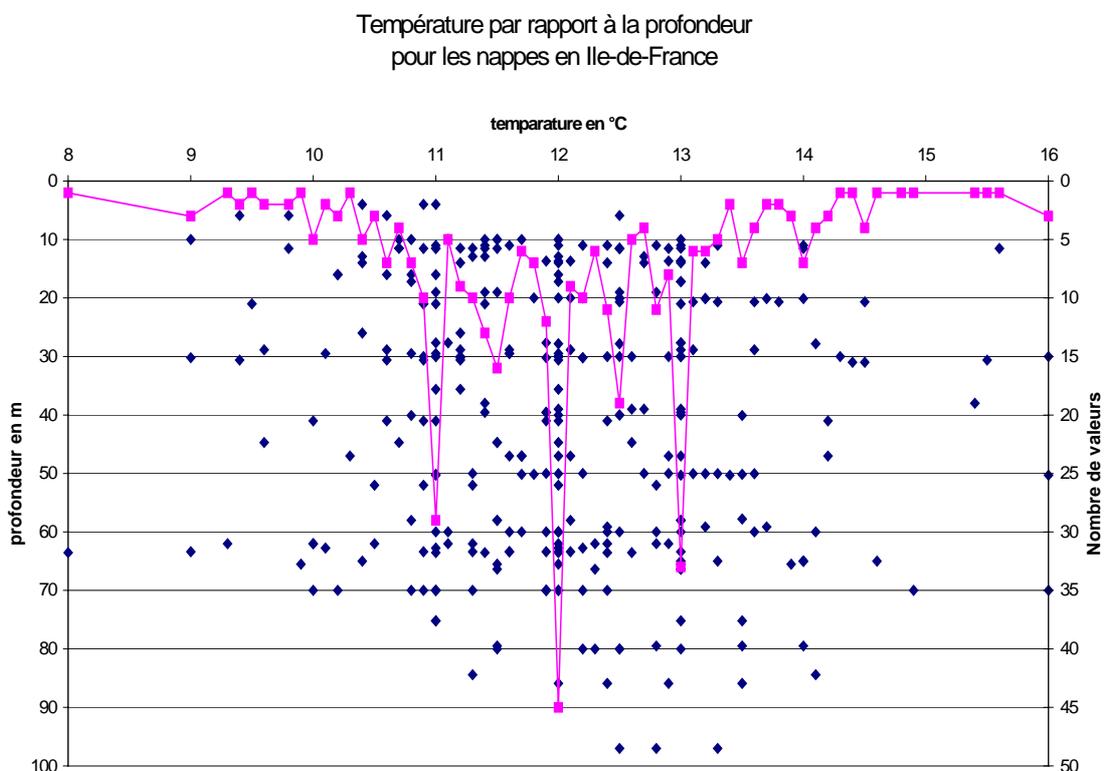


Fig. 5 - Statistique des températures en fonction de la profondeur entre 0 et 100 m en Ile-de-France

Si on considère enfin la distribution des températures d'un aquifère donné tout au long d'une année (fig. 6), on constate que la variabilité des mesures est :

- la plus faible en hiver : de 11 à 12 °C en février (mois représentatif de l'hiver) ;
- plus importante au printemps avec des valeurs comprises entre 10 et 14 °C ;
- la plus importante en été (de 11 à 16 °C en juillet) et en automne (de 10 à 15,5 °C en octobre).

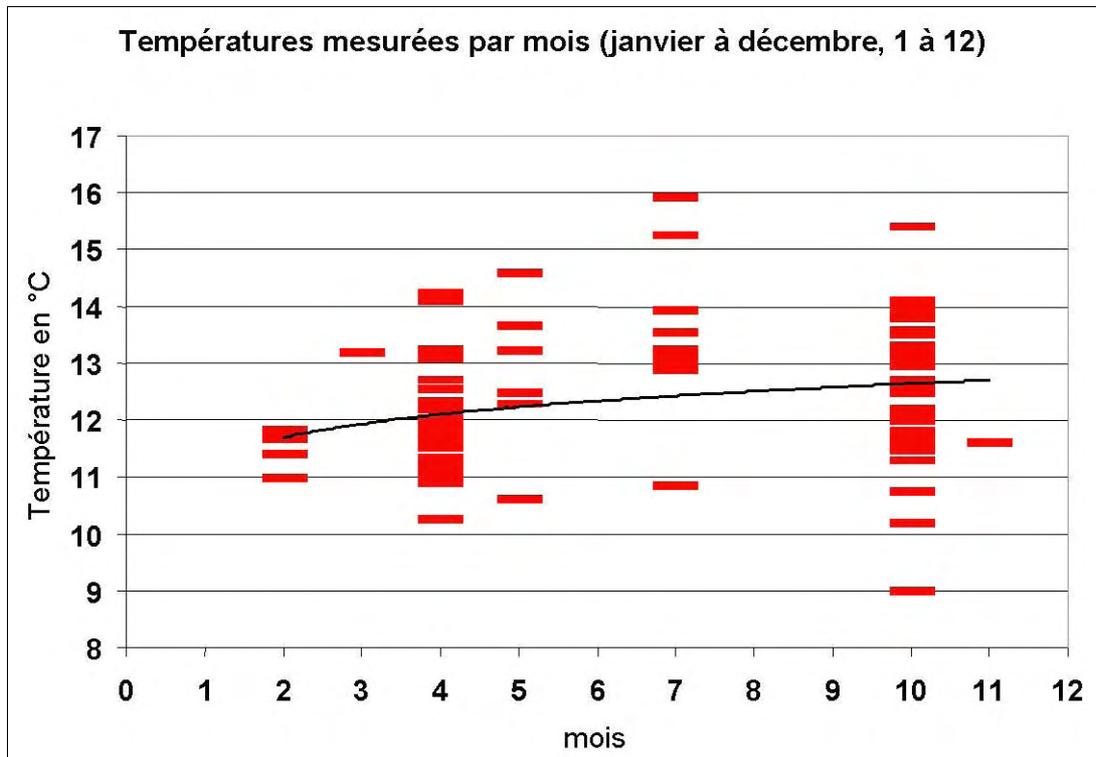


Fig. 6 - Statistique des températures mensuelles de l'eau d'un aquifère donné en Ile-de-France.

D'une façon générale, la température moyenne est globalement supérieure d'un degré en été et en automne (12,5 °C) par rapport à l'hiver (11,8 °C).

Finalement, nous avons décidé, d'un commun accord avec le bureau d'étude ALTO INGENIERIE, de retenir pour les calculs de dimensionnement des matériels d'exploitation de la ressource :

- **une température hivernale moyenne (chauffage) des eaux de 12 °C pour tous les aquifères ;**
- **une température estivale moyenne (rafraîchissement) de 16 °C pour tous les aquifères.**

Compte tenu de ce qui précède, le critère « Température » ne fait l'objet d'aucune représentation cartographique dans la suite de l'étude.

3.1. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'OLIGOCÈNE

3.1.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Oligocène

Le système aquifère de l'Oligocène, communément appelé « Nappe de Beauce » est une vaste surface tabulaire au sud-ouest de l'Ile-de-France couvrant à l'affleurement

environ 2 500 km². Cet aquifère s'étend au-delà vers le sud jusqu'en forêt d'Orléans (zone de partage des eaux souterraines entre les bassins de la Seine et de la Loire).

Le rapport BRGM R40571 montre que l'on peut y distinguer trois aquifères, séparés par des couches semi-perméables :

| Aquifères | Formations semi-perméables | Remarques | Transmissivité moy. (m ² /s) | Épaisseur (mètre) |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|---|-------------------|
| Calcaire de Beauce | | lacustre fissuré, voire karstifié | 10 ⁻² | 0 à 40 |
| Sable de Fontainebleau | | sables fins à très fins | 10 ⁻³ à 10 ⁻⁵ | 0 à 70 |
| | Molasse d'Étrechy et Marnes à Huîtres | | | 0 à 8 |
| Calcaire de Brie | | lacustre, karstifié | 10 ⁻² à 10 ⁻³ | 2 à 12 |
| | Marnes vertes et Marnes supra gypseuses | | | |

Tabl. 1 - Les aquifères du multicouche de l'Oligocène et leurs paramètres hydrodynamiques.

Ces aquifères constituent le réservoir principal de cette région du fait d'épaisseurs importantes notamment au sud mais qui diminuent vers le nord. Les Calcaires de Beauce présentent des épaisseurs de 20 à 40 m et les Sables de Fontainebleau de 50 m en moyenne.

Les Calcaires de Brie, bien que peu épais (10 m en moyenne), peuvent être très productifs.

Les Calcaires de Beauce sont en général plus perméables que les Sables de Fontainebleau (la perméabilité qui définit la vitesse d'écoulement est calculée en divisant la transmissivité par l'épaisseur). Ces calcaires présentent des degrés variables de fissuration, de diaclases et de cavités karstiques.

L'ensemble de ces formations subit de nombreuses variations latérales :

- les Marnes à Huîtres, semi-perméables, sont présentes au nord de Paris entre la Seine et l'Yvette et absentes au sud où Calcaire de Beauce, Sables de Fontainebleau et Calcaire de Brie forment un réservoir unique ;
- au sud de la région, les formations calcaires de l'Oligocène reposent directement sur celles de l'Éocène supérieur, qui sont elles-mêmes en contact avec la Craie du Crétacé supérieur. À l'extrême, en région Centre, la nappe de Beauce peut être en contact avec tous les terrains situés entre la Craie et le Burdigalien (Miocène), ce qui provoque des drainances importantes (rapport BRGM R 40571, Martin *et al.*, 1999) ;

- au nord de l'Ile-de-France, la nappe est essentiellement contenue dans le Calcaire de Brie.

Le coefficient d'emmagasinement, qui définit la capacité de stockage de volumes d'eau, varie de 8 à 15 % en nappe libre (surface piézométrique libre), et de 1 à 2 % en nappe captive (correspondant à un aquifère mis en pression sous une couche imperméable).

L'horizon des Calcaires de Brie est le plus âgé de la série multicouche. Il est situé géologiquement sous les Sables de Fontainebleau. Il s'étend entre la Marne et le nord de la Beauce avec une épaisseur maximale de 12 m et joue un rôle souvent important comme réservoir, malgré une épaisseur de 5 à 6 m. Plus au sud, le Calcaire de Brie en contact direct avec le Calcaire de Champigny forment le Calcaire de Château-Landon.

La surface piézométrique suit globalement la direction SW-NE et la nappe est libre, c'est-à-dire sans recouvrement, à l'exception de la zone orientale. Elle est fortement drainée par les cours d'eau (Juine, Essonne, Férole) qu'elle alimente.

Le battement de la nappe est important dans les zones de plateaux avec 3 à 5 m de moyenne annuelle. Signalons que les remontées de la nappe des Calcaires de Beauce ont provoqué des inondations en 2001.

Un SAGE de la nappe de Beauce est actuellement à l'étude avec l'objectif de rendre compatibles les besoins de l'agriculture, la qualité et les niveaux d'étiage des rivières. Le SDAGE Seine-Normandie prend la mesure des enjeux sur la nappe de Beauce et démontre la nécessité d'une gestion équilibrée de cette ressource. Les sources de la Beauce apparaissent dans les cas les plus fréquents au contact des Calcaires d'Étampes ou Sables de Fontainebleau avec l'Éocène supérieur. Les débits spécifiques variant en fonction de la karstification sont de l'ordre de 20 à 50 m³/h/m et peuvent atteindre 400 m³/h/m. Ils sont très différents selon que les sources sont au niveau des sables ou des calcaires

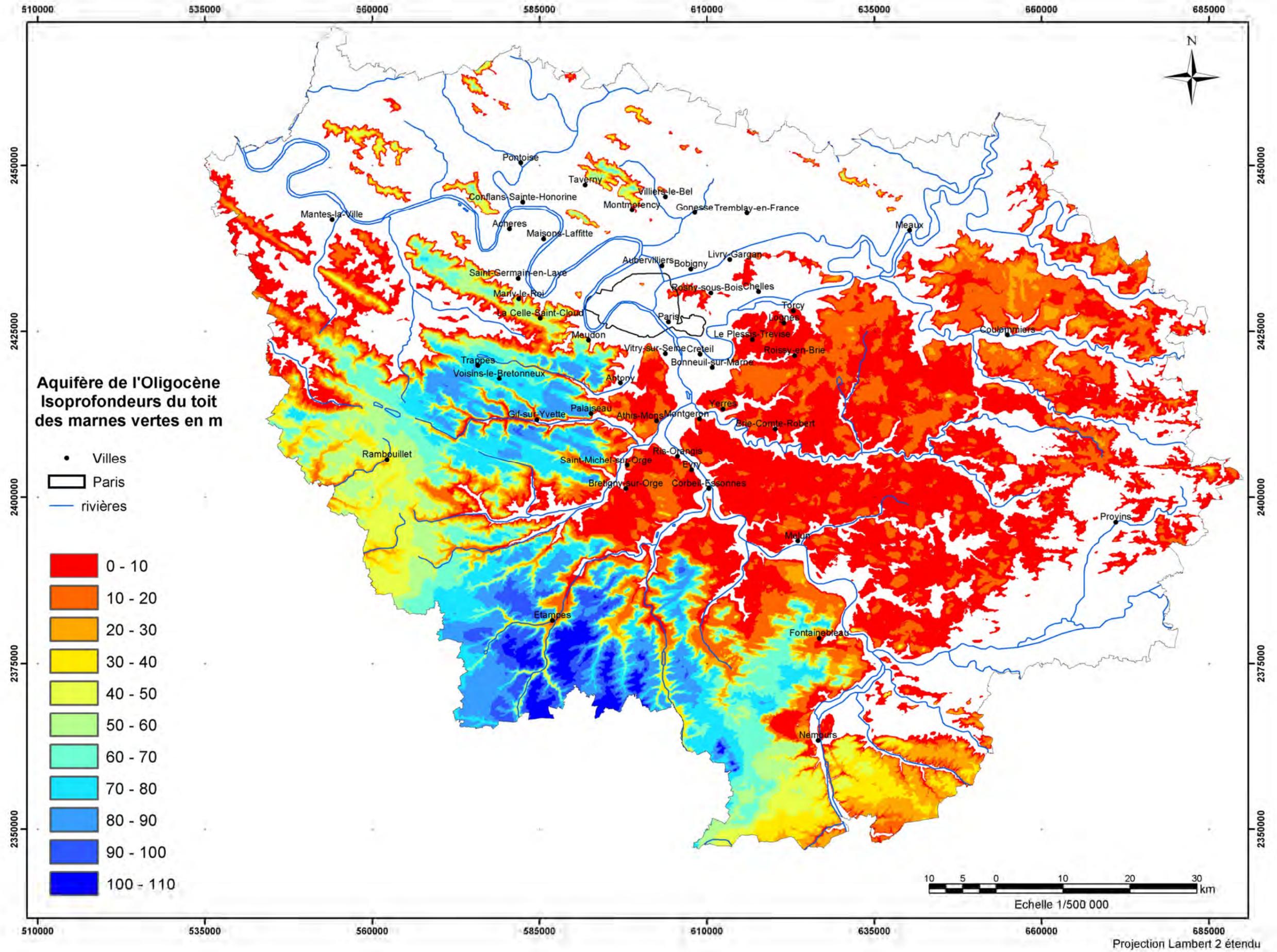
3.1.2. Construction des cartes d'isop profondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère multicouche de l'Oligocène

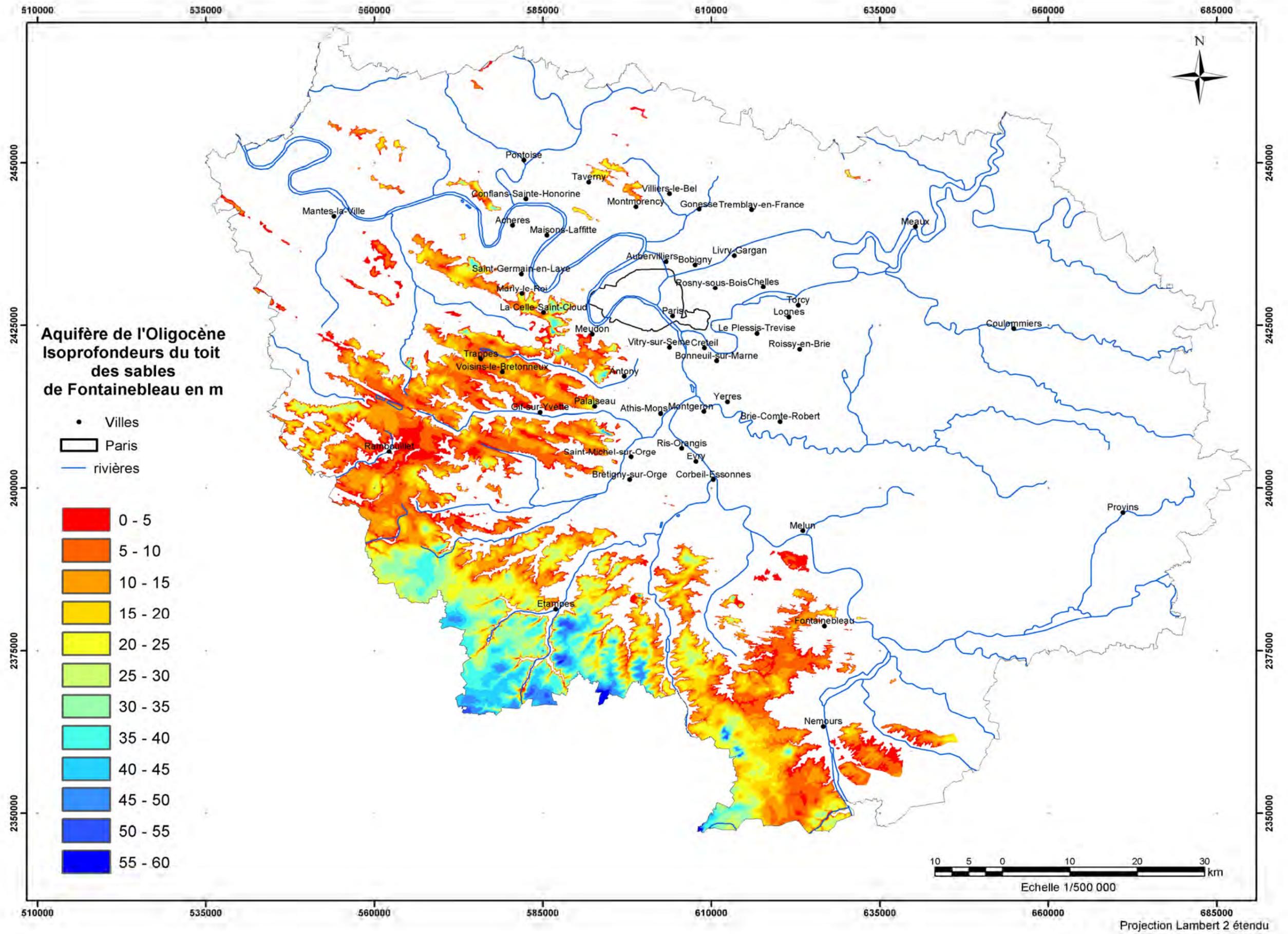
Les deux cartes présentées ci-après représentent, par convention, la profondeur de la formation géologique. La valeur 0 représente donc le niveau topographique ou niveau du sol.

Les profondeurs ainsi définies ont été arbitrairement affectées d'une couleur rouge (les moins profondes) jusqu'à des couleurs bleues (les plus profondes).

La première carte qui suit correspond au toit de la formation aquifère, la seconde au mur de la même formation.

Remarque : En ce qui concerne la carte du toit de l'aquifère Oligocène, le toit de la formation des Calcaires de Beauce n'étant pas disponible, c'est la carte du toit des Sables de Fontainebleau qui a été utilisée.





3.1.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Oligocène (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1

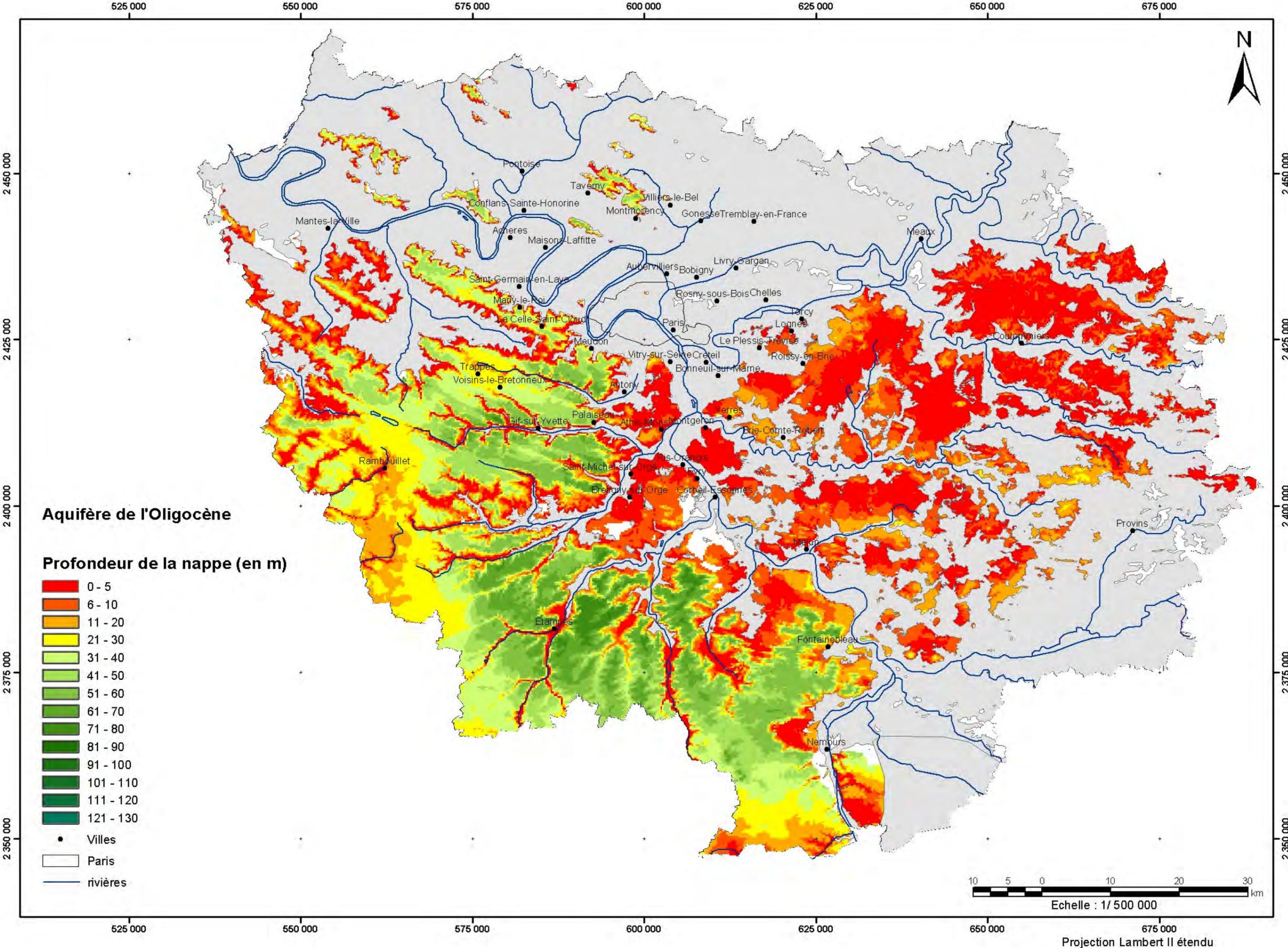
Comme il a été écrit précédemment, l'aquifère multicouche de l'Oligocène est composé de trois grands aquifères superposés et interconnectés.

Les différentes sources d'informations utilisées pour créer la carte globale de la profondeur de l'aquifère multicouche sont :

- 1) La piézométrie de la nappe de Beauce en Basses Eaux 1994 (Calcaires de Beauce au sud de la région). Ces données piézométriques semblent de bonne qualité sauf sur les bordures de la nappe où le niveau piézométrique apparaît parfois inférieur au mur de l'aquifère. Il a donc fallu corriger.
- 2) La piézométrie des Sables de Fontainebleau élaborée à partir des données géophysiques. Ces données permettent de construire la surface la plus importante et sont généralement cohérentes avec les deux autres cartes piézométriques utilisées. Le gradient est, par contre, plus important et un lissage des courbes a été nécessaire notamment en partie la plus profonde de l'aquifère.
- 3) La piézométrie des sables de Fontainebleau dans le département des Yvelines (rapport BRGM 81 SGN 348 IDF) : deux cartes ont été raccordées.
- 4) Piézométrie vectorisée de l'Atlas des nappes aquifères de la région parisienne : construction de la partie orientale de l'aquifère.
- 5) Des points de calage extraits de la Banque des Données du Sous-sol (BSS) du BRGM.

La carte piézométrique que l'on trouvera ci-après en format A3 à l'échelle 1/500 000 sous le titre « Aquifère de l'Oligocène - Profondeur de la nappe en m » n'est pas continue car l'aquifère est fortement érodé dans les vallées laissant apparaître l'aquifère multicouche sous-jacent de l'Éocène Supérieur à l'est et de l'Éocène Moyen à l'ouest.

La carte est construite sur des tranches de profondeur de 5 m allant de la surface du sol à 130 m de profondeur. Les tranches supérieures, considérées comme les moins intéressantes du fait de leur vulnérabilité (effets du climat et pollutions, peu adaptés à la réalisation de puits d'injection efficaces) sont identifiées en couleur rouge, les tranches moyennement profondes en orange puis en jaune. Enfin, les tranches de profondeurs les plus importantes sont matérialisées en vert, du plus clair au plus foncé.

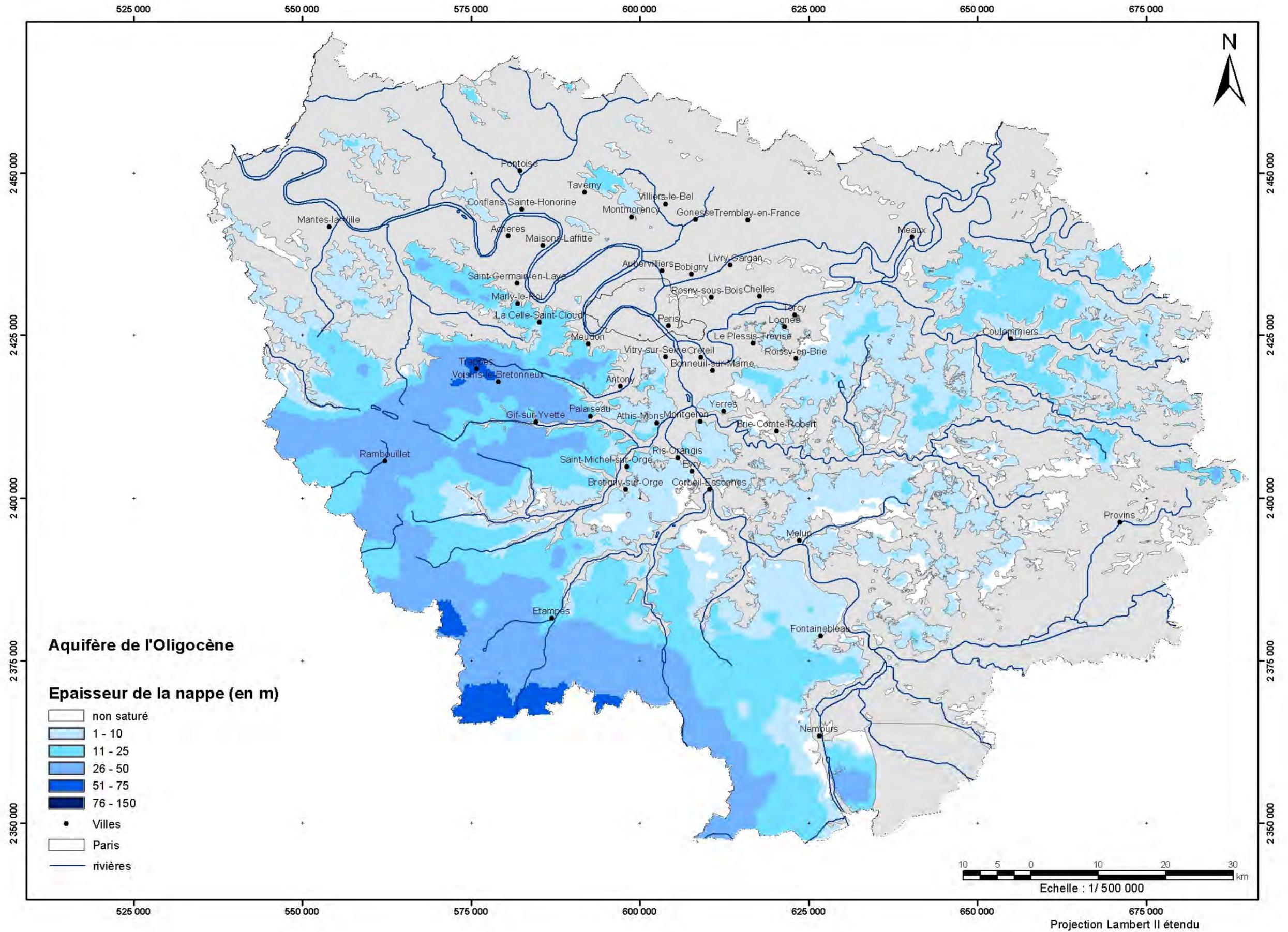


3.1.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Oligocène répondant au critère n° 2

La carte présentée ci-après dans le même format que la précédente, sous le titre « Aquifère de l'Oligocène - Epaisseur de la nappe en m » est construite à partir de cinq tranches d'épaisseurs allant de 1 m à 100 m qui seront utilisées pour le croisement des données pour la carte finale.

Les zones non saturées de la nappe, c'est-à-dire dans lesquelles aucune ressource en eau n'a été identifiée sont représentées en blanc.

Cette carte est construite à partir des mêmes sources que la carte des profondeurs de la nappe ainsi qu'à partir de la carte des isohypses du mur de l'aquifère présentée au chapitre 3.1.2 ci-dessus.



3.1.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Oligocène répondant au critère n° 3

Dans les documents analysés pour l'élaboration de la carte hydrochimique de l'aquifère multicouche de l'Oligocène, ont été distinguées les zones suivantes :

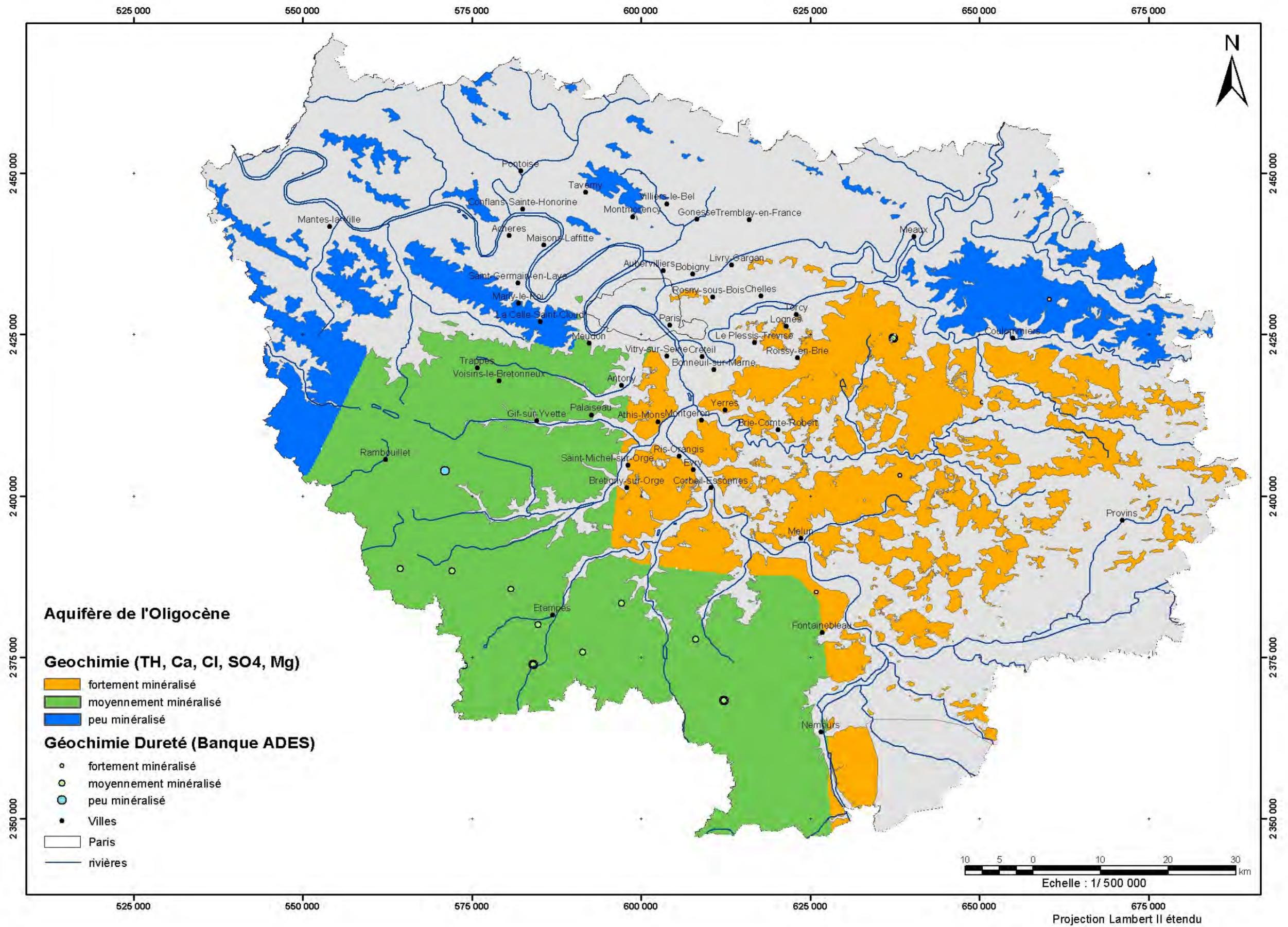
- les buttes du nord de l'Ile-de-France associées essentiellement à l'aquifère des sables de Fontainebleau où la minéralisation est généralement très faible ;
- une zone centrée sur les Yvelines et l'Hurepoix correspondant à un petit quart nord-ouest de l'Ile-de-France où les formations aquifères, sableuses et calcaires conduisent à une minéralisation faible à moyenne ;
- un grand quart nord-est de l'Ile-de-France, correspondant grossièrement à la Brie, où l'aquifère des Calcaires de Brie très peu profond et peu épais présente une minéralisation élevée liée aux faibles circulations d'eau et influencée par les pratiques agricoles ;
- enfin, la Beauce correspondant au grand quart sud-ouest de la région où la profondeur et l'épaisseur de l'aquifère, sensiblement plus importantes, conduisent, en toute logique, à des minéralisations faibles à moyennes.

La **dureté de l'eau** varie dans cet aquifère de 20 à 30 degrés français (°f), ce qui est confirmé par la dureté moyenne obtenue à partir de 59 points issus de la Base ADES qui s'établit à 29°f.

La concentration en **sulfates** y est généralement faible de l'ordre de 0 à 5 mg/l. Elle présente par endroit des valeurs plus élevées, parfois supérieures à 20 mg/l.

Enfin, le **fer** y est peu abondant avec des concentrations inférieures à 0,3 mg/l.

La carte qui suit, intitulée « Aquifère de l'Oligocène - Géochimie de la nappe », présente d'une part, La Géochimie générale de l'aquifère en trois classes de minéralisation (forte, moyenne et faible) conformément aux éléments décrits dans le paragraphe consacré au critère n° 3 précédent, d'autre part, un certain nombre de valeurs de dureté, elles-mêmes réparties en trois classes, issues de la Banque de données ADES.



3.2. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR

3.2.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Éocène supérieur

L'aquifère de l'Éocène supérieur s'étend à l'affleurement sur environ 1 700 km² couvrant la Brie dans l'est de la région et le nord-est de la Beauce au sud de la région. C'est une des nappes les plus exploitées d'Ile de France.

Le réservoir de la nappe du Champigny, composante essentielle de l'aquifère multicouche, est de type calcaire dominant, fissuré, avec de nombreux phénomènes karstiques. La couche imperméable de marnes supra gypseuses et de marnes vertes qui l'isole sur les plateaux, disparaît dans les vallées et sur certains coteaux, lui conférant ainsi, en certaines zones, une vulnérabilité naturelle. L'aquifère du Champigny se décompose dans sa partie occidentale en trois couches : les Calcaires de Champigny *stricto sensu*, les Calcaires de Saint-Ouen et les Sables de Beauchamp.

La nappe est généralement libre mais les calcaires sont recouverts sur les plateaux par le manteau des « marnes vertes », soutenant une nappe perchée peu abondante, dans les Calcaires de Brie composant l'aquifère multicouche de l'Oligocène (voir chapitre précédent).

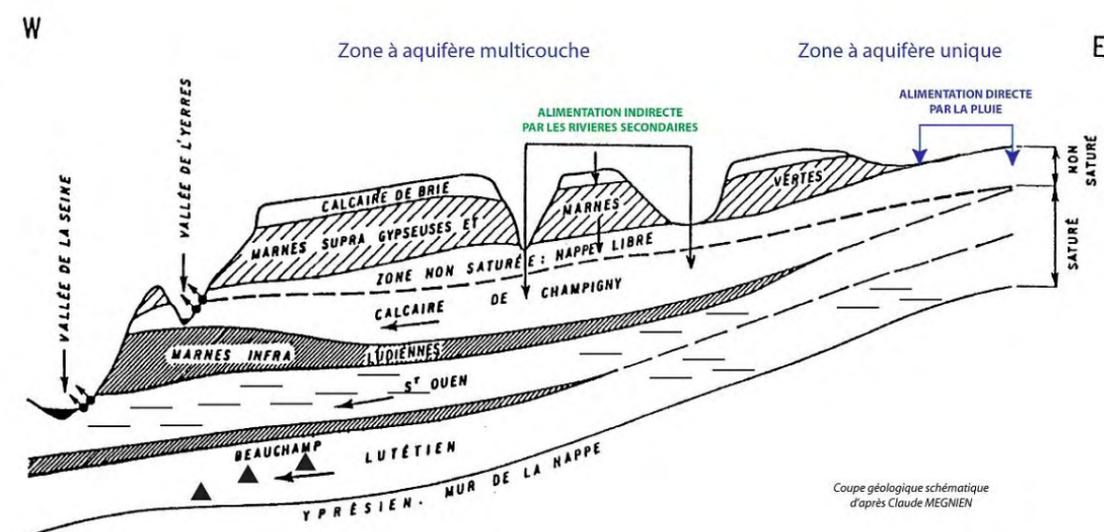


Fig. 7 - Coupe géologique schématique est-ouest du Bassin parisien d'après Claude Mégnien.

Les Calcaires de Saint-Ouen ont une épaisseur de 15 à 30 m et les Calcaires de Champigny de 20-35 m.

Les aquifères sont délimités par des couches peu perméables (marnes). Au sud de l'Ile-de-France, les niveaux marneux imperméables disparaissent, l'aquifère des Calcaires de Champigny est alors en communication avec les réservoirs de l'Oligocène et de l'Éocène moyen et inférieur. Les Calcaires de Champigny, de Saint-Ouen, du Lutétien et les Calcaires de Brie constituent alors un réservoir unique dont l'épaisseur d'ensemble diminue à 30 m.

Au nord de la Brie, le faciès du Calcaire de Champigny devient gypseux (sédimentation de type lagunaire) et on exploite surtout les Sables de Beauchamp et, à un degré moindre, le Calcaire de Saint-Ouen (faciès marneux).

Les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère multicouche sont très hétérogènes :

- le coefficient d'emmagasinement définissant la capacité de stockage d'eau varie de 0,01 à 1 % ;
- la perméabilité de l'ensemble est du type perméabilité de fissures. Suivant leur dimension et leur extension, les eaux pourront couvrir rapidement des distances importantes. Le terrain est hétérogène aussi bien verticalement qu'horizontalement ;
- la transmissivité de l'aquifère des Calcaires de Champigny est globalement 10^{-2} à 10^{-3} m²/s, mais peut localement varier fortement. La transmissivité des Calcaires de Saint-Ouen est de 10^{-3} à 10^{-4} m²/s ;
- la surface piézométrique montre un écoulement souterrain général E-W. La nappe est généralement libre et, en moyenne, à 15 m de profondeur ;
- les fluctuations piézométriques des Calcaires de Saint-Ouen ne dépassent *a priori* pas 6 m, sauf dans la région est. Signalons que les remontées de nappe en 2001 ont provoqué des inondations de fond de vallée.

L'étude du BRGM en 2003 (BRGM/RP-52366-FR, janvier 2003) montre les relations nappe-rivières, ainsi que la complexité de l'aquifère avec des zones de pertes dans des vallées et des zones d'alimentation de la rivière par les nappes. Ces pertes montrent une très forte perméabilité liée à une vulnérabilité des nappes.

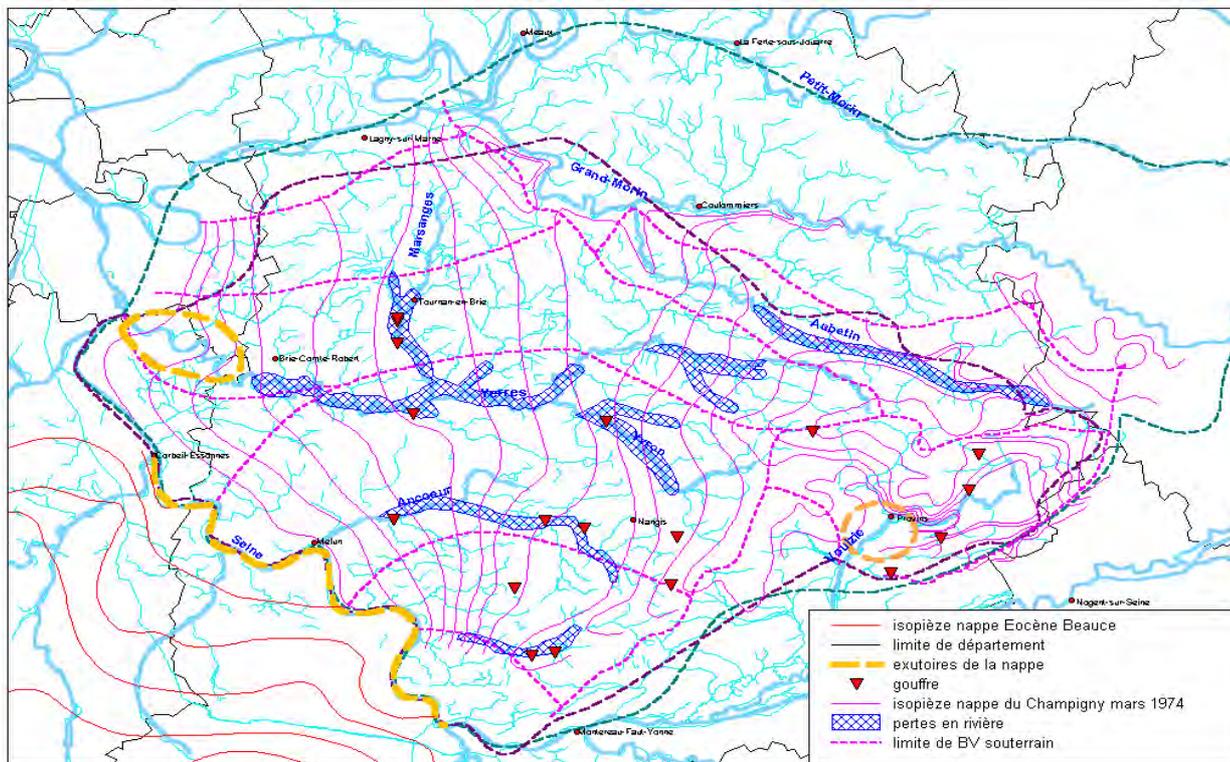


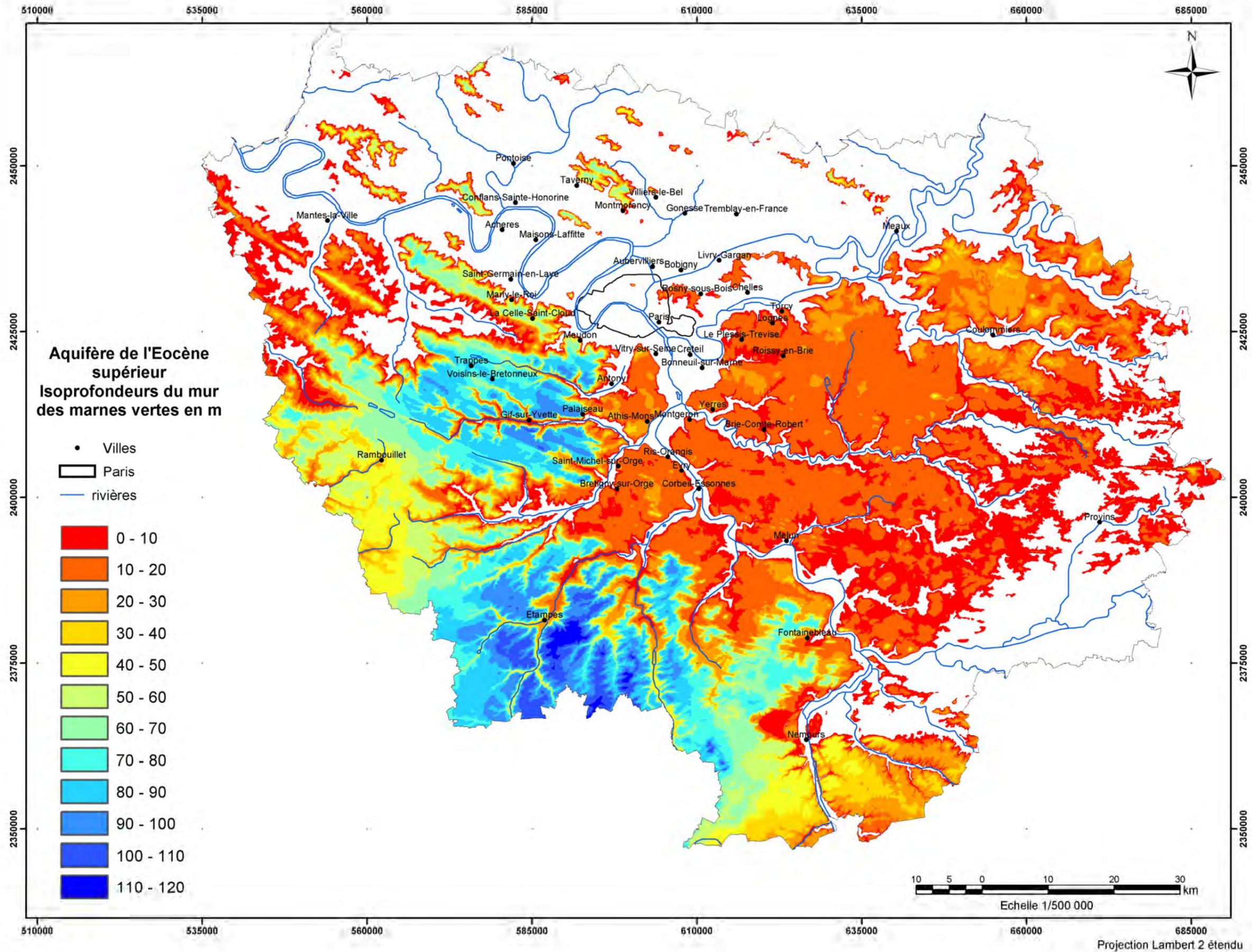
Fig. 8 - Isopièze du Champigny (rose). Exutoire de la nappe (jaune), pertes en rivière (hachuré bleu).

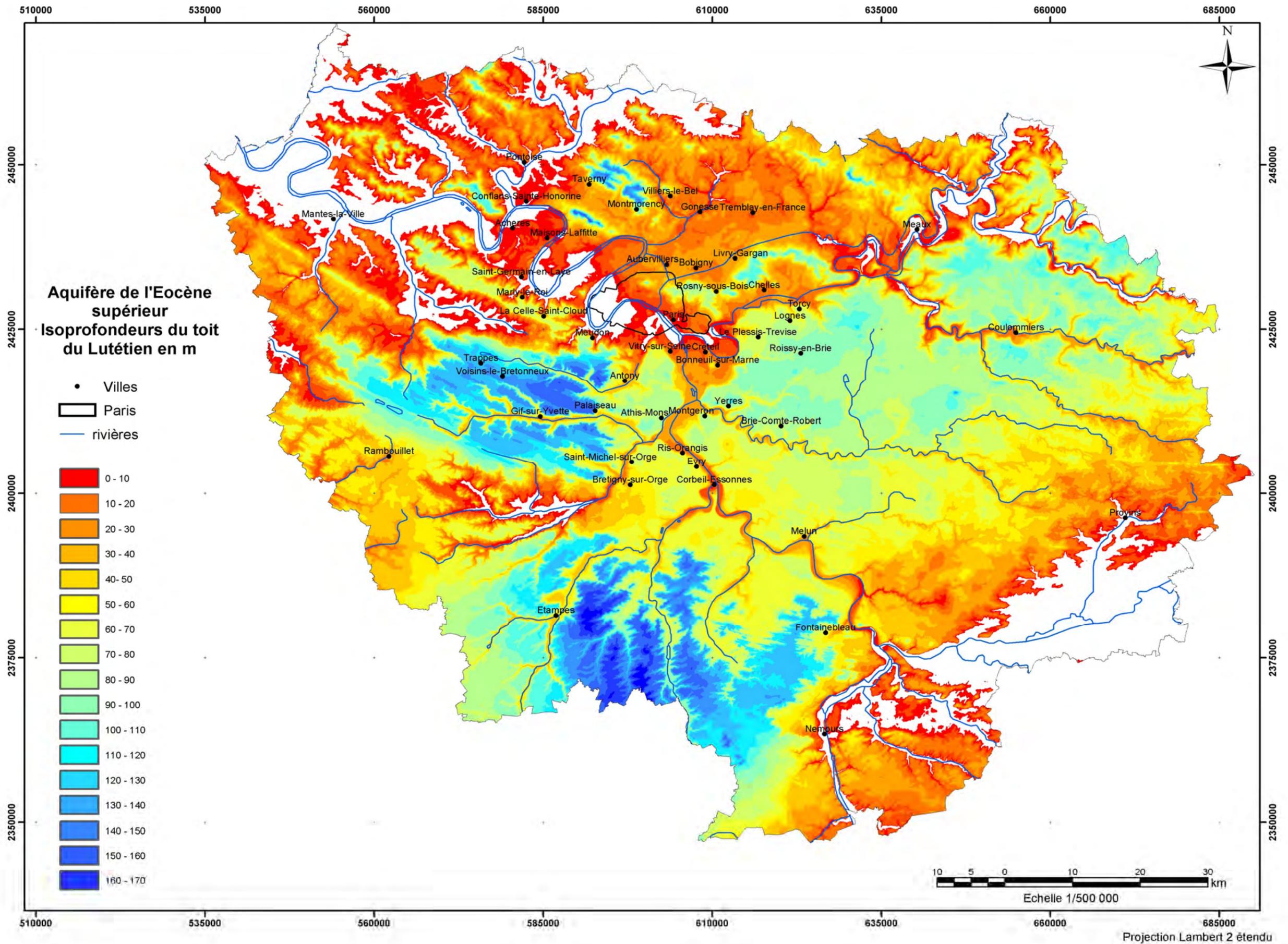
Cette nappe est une des principales ressources en eau souterraine d’Ile-de-France. Elle alimente en eau potable environ un million de franciliens dont 480 000 habitants de Seine-et-Marne. Paris est en partie alimentée depuis la fin du XIX^e siècle par l’aqueduc de la Voulzie qui transporte, entre autres, les eaux des sources émergentes du Champigny situées dans le bassin de Provins. Les prélèvements, qui varient entre 45 et 62 Mm³ par an, se répartissent entre production d’eau potable (75 %), usage industriel (22 %) et usage agricole (3 %).

La nappe n’est pas encore trop fortement exploitée. Cependant, suite à des problèmes de baisse de niveau dans les années sèches (1992/1993) et une hausse des teneurs en nitrate, un SAGE de la nappe de Champigny est mis à l’étude afin d’élaborer les outils nécessaires à la gestion active de cet aquifère avec l’objectif de rendre compatibles les besoins de l’agriculture, la qualité et les niveaux d’étiage des rivières.

3.2.2. Construction des cartes d’isoprofondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l’aquifère de l’Éocène supérieur

Les deux cartes présentées ci-après (toit puis mur de la formation) représentent la profondeur de la formation géologique par rapport au niveau topographique. Les profondeurs ainsi définies ont été arbitrairement affectées d’une couleur rouge (les moins profondes) jusqu’à des couleurs bleues (les plus profondes).





3.2.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Éocène supérieur (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1

Comme spécifié en préambule du chapitre 3, l'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur est essentiellement composé de trois grands aquifères superposés et partiellement interconnectés : les Calcaires de Champigny, les Calcaires de Saint-Ouen et les Sables de Beauchamp. Les différentes sources d'information utilisées pour créer la carte globale de la profondeur de l'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur sont :

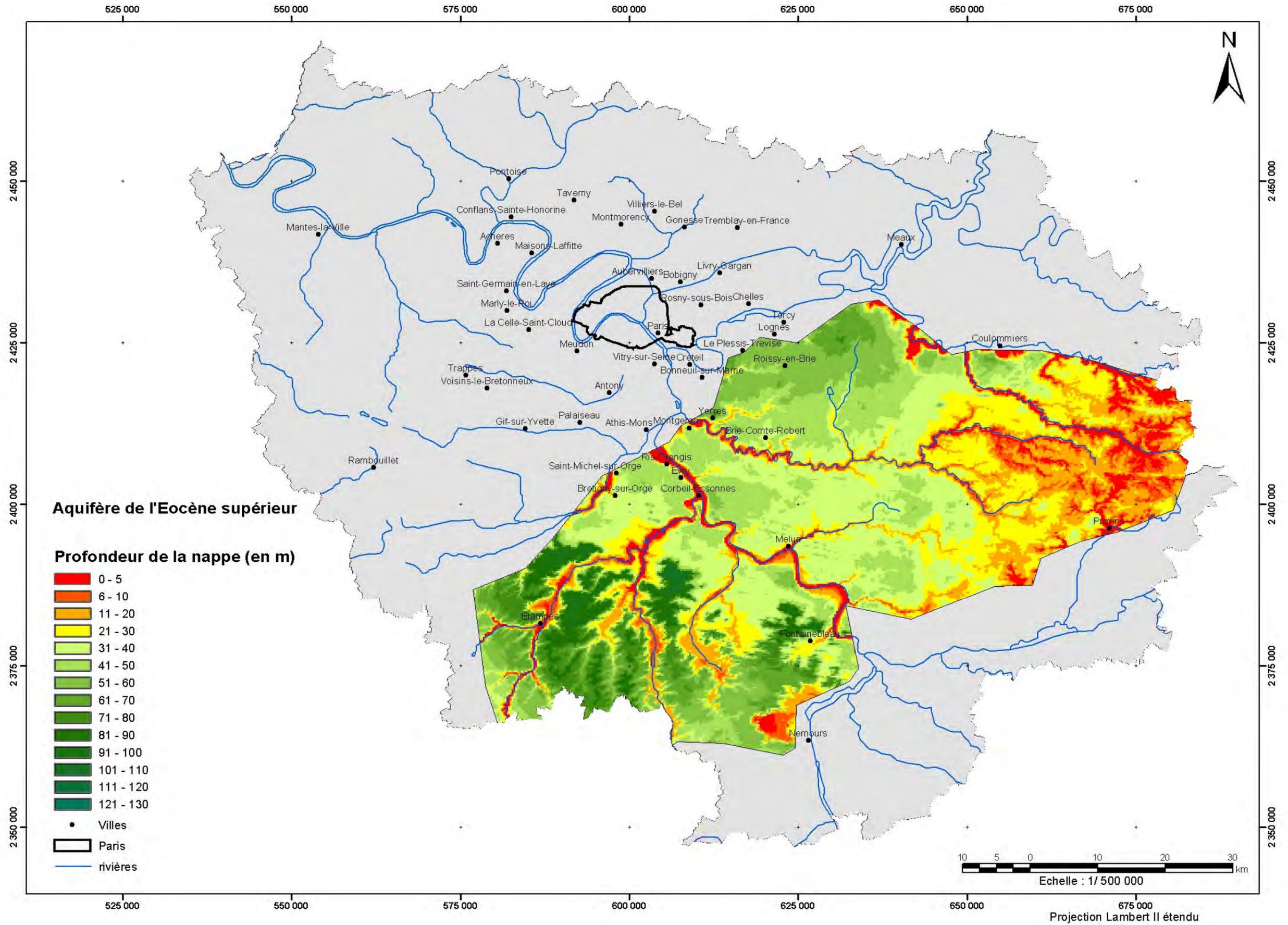
- la carte piézométrique de l'Éocène de Beauce ;
- la carte piézométrique des Calcaires de Champigny de mars 1974 (réf. 76 SGN 049 BDP) ;
- la carte piézométrique calculée à partir de mesures géophysiques ;
- la carte piézométrique calculée à partir de mesures géophysiques, consacrée spécifiquement à la nappe des Sables de Beauchamp.

Les données ayant permis la construction de ces cartes ont été complétées au nord et à l'ouest de la région par des courbes isopièzes tracées à partir de niveaux d'eau connus issus, soit de la BSS (BRGM), soit d'autres travaux d'inventaire.

Une difficulté est apparue dans la construction de la carte, en ce qui concerne la nappe des Sables de Beauchamp qui s'intercale entre les Calcaires de Saint-Ouen (ou de Champigny) et la nappe de l'Éocène moyen et inférieur qui couvre toute la partie nord de la région (cf. chap. 3.3.). En effet, un raccordement entre la nappe des sables de Beauchamp et celle des Calcaires de Saint-Ouen n'a pas été possible à partir des seules données des cartes sources car cette formation est située 20 m plus bas que la formation sus-jacente et probablement non connectée à elle au point de vue hydrogéologique (région de Meaux).

La carte piézométrique ci-après (format A3 à l'échelle 1/500 000) sous le titre « Aquifère de l'Éocène supérieur - Profondeur de la nappe en m », est, comme pour l'Oligocène, construite sur des tranches de profondeur de 5 m jusqu'à 130 m de profondeur. Les tranches supérieures, les moins intéressantes du fait de leur vulnérabilité, sont identifiées en couleur rouge ; les tranches les plus intéressantes s'organisent ensuite de l'orange au jaune puis au vert de plus en plus foncé.

On notera que les profondeurs peu propices à une exploitation sont situées à l'est de la région et dans les fonds de vallées.



3.2.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Éocène supérieur répondant au critère n° 2

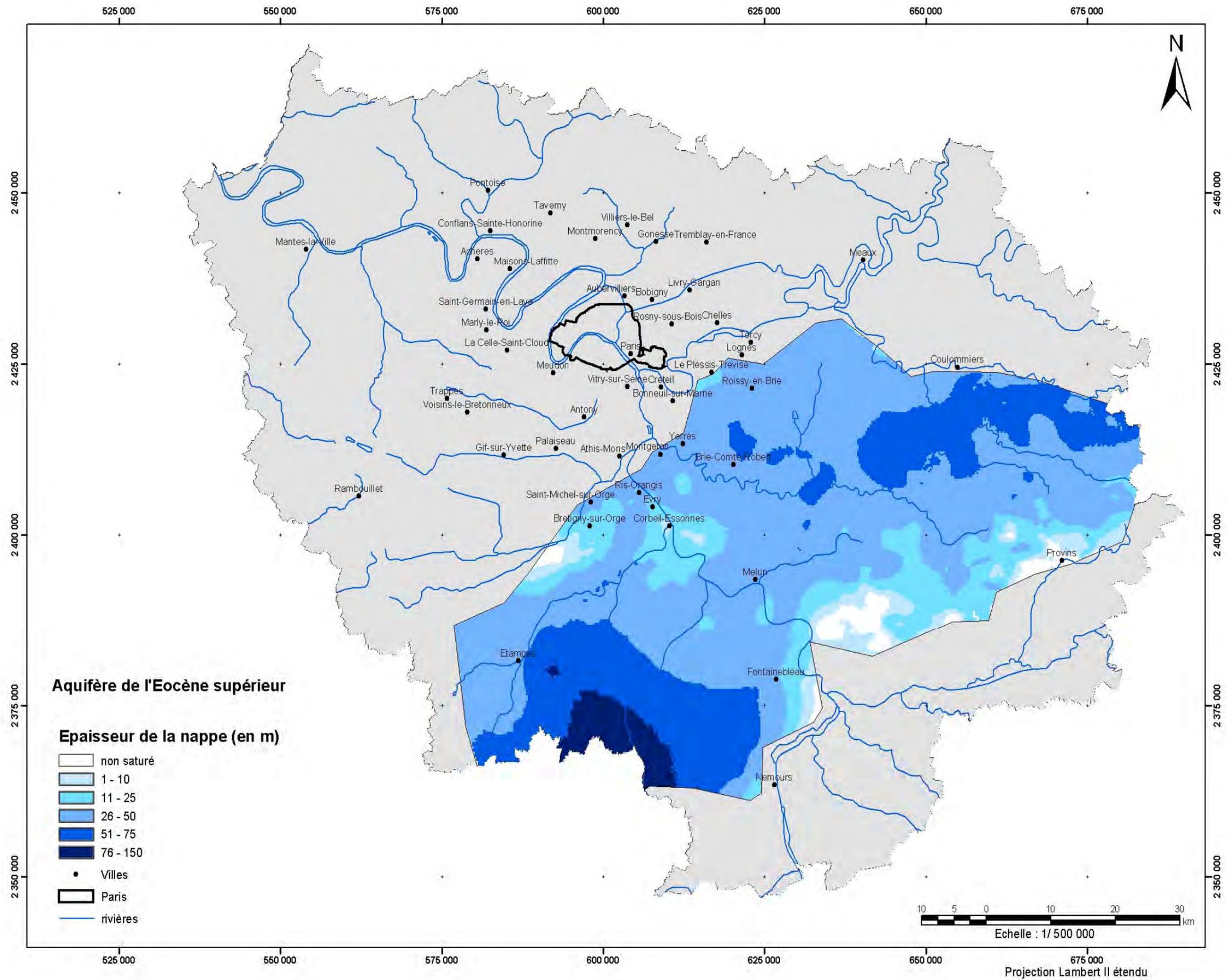
La carte présentée ci-après dans le même format que la précédente et que celle homologue relative à l'Oligocène, sous le titre « Aquifère de l'Éocène Supérieur - Épaisseur de la nappe en m » est construite à partir de cinq tranches d'épaisseur allant de 1 m à 150 m, correspondant aux tranches des critères utilisées pour le croisement des données pour la carte finale.

Les zones non saturées de la nappe, c'est-à-dire dans lesquelles aucune ressource en eau n'a été identifiée, sont représentées en blanc.

Cette carte est construite à partir des mêmes sources que la carte des profondeurs de la nappe ainsi qu'à partir de la carte des isohypses du mur de l'aquifère présentée au chapitre 3.2.2. ci-dessus.

L'épaisseur de cet aquifère multicouche est principalement influencée par sa structure tectonique (voir fig. 2) avec des anticlinaux où l'épaisseur est plus faible voire nulle et des synclinaux où elle est importante :

- dans la Brie, l'aquifère multicouche dispose d'une épaisseur moyenne de 45 m ;
- dans l'Essonne et le Gâtinais, l'aquifère qui se compose des seuls Calcaires de Champigny et de Saint-Ouen présente une épaisseur moyenne de 40 m ;
- plus au nord, seule les formations des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp sont présentes. Elles ne constituent pas une nappe importante.



3.2.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Éocène supérieur répondant au critère n° 3

Les documents source utilisés pour la construction de cette carte permettent de distinguer une zone hydrochimique où l'aquifère dominant des Calcaires de Champigny est peu à moyennement minéralisé.

Claude Mégnier, dans son étude de 1979 fait état de variations hydrochimiques latérales à l'intérieur de l'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur et précise également que la résistivité de l'eau de la nappe baisse avec la profondeur à mesure qu'on s'approche de formations fortement conductrices sous-jacentes. Pour ce qui concerne les variations verticales de la chimie des fluides contenus dans les aquifères de l'Éocène supérieur, outre le fait qu'elles sont bien évidemment liées à la composition minéralogique des formations, le caractère captif ou libre des nappes concernées entre également en compte.

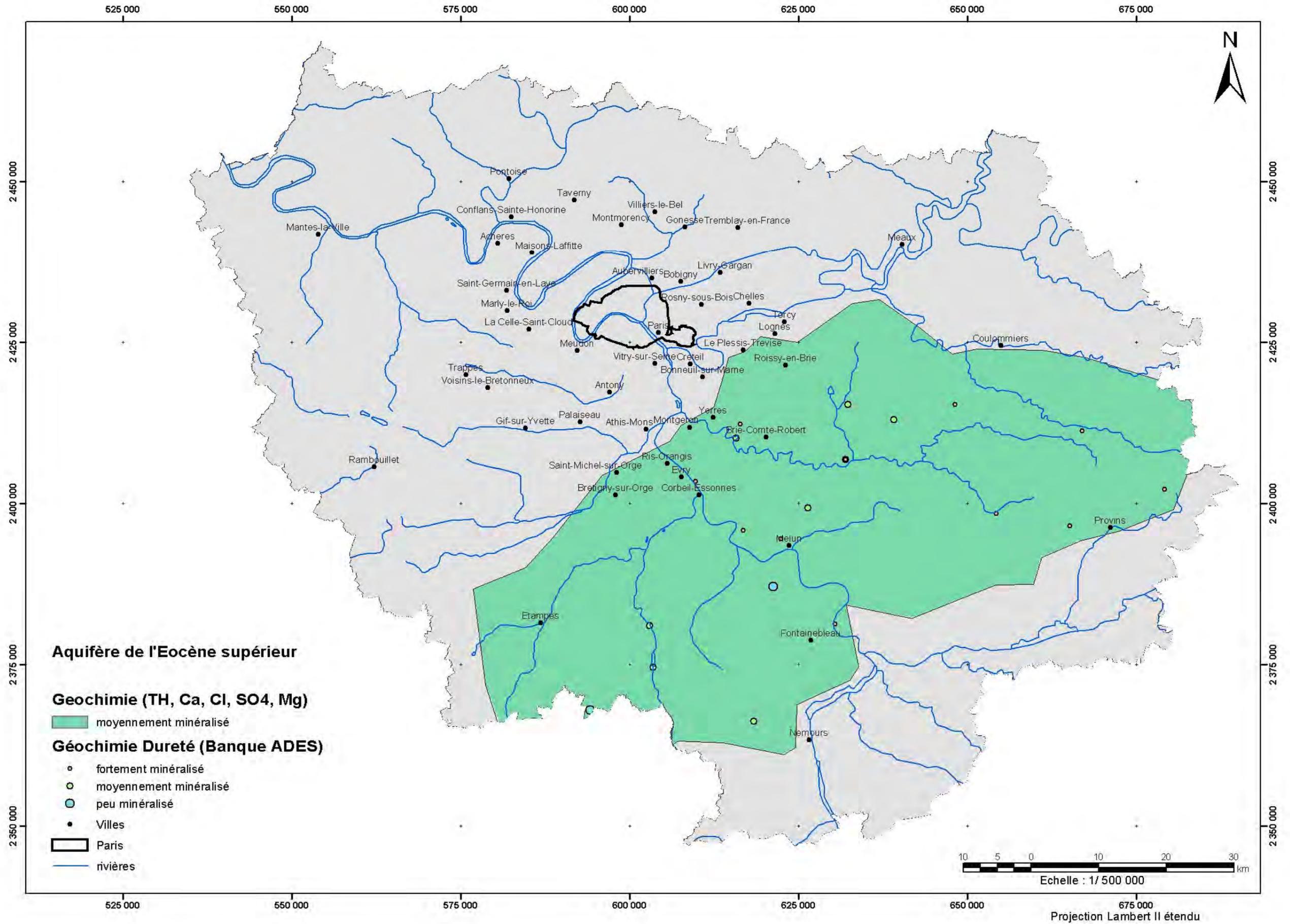
Ainsi, les fluides contenus dans les Sables de Beauchamp sont très minéralisés dans les zones captives de l'aquifère où la circulation et le renouvellement des eaux souterraines sont limités.

Claude Mégnier fait également état d'une **dureté** moyenne de l'ordre de 30 degrés français, corroborée par une analyse statistique de 109 points de mesure extraits de la Base ADES dont la moyenne donne une valeur de 31°f.

Pour des paramètres identiques à ceux de l'aquifère de l'Oligocène, on note ici, pour les teneurs en **sulfates**, une médiane de 21 mg/l, obtenue sur 145 points de mesure et pour les teneurs en **fer total**, une médiane de 0,1 mg/l.

En résumé, l'hydrochimie de l'aquifère de l'Éocène supérieur varie en fonction de trois paramètres principaux :

- le changement de faciès entre calcaire et gypse ;
- l'épaisseur de la formation des Calcaires de Champigny ;
- l'état libre ou captif de la nappe.



3.3. AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE MOYEN ET INFÉRIEUR

3.3.1. Caractéristiques de l'aquifère de l'Éocène moyen et inférieur

L'aquifère multicouche s'étend très largement au nord de la Seine et de la Marne et occupe dans l'Ile-de-France, à l'affleurement, une surface de 4 000 km².

Cet aquifère comprend, du bas vers le haut, plusieurs couches : les Sables de Bracheux et les Sables du Soissonais, souvent regroupés sous le vocable de « nappe du Soissonais », les Sables de Cuise et le Calcaire grossier. Les Marnes et Caillasses sont considérées comme un niveau semi-perméable séparant la nappe de l'Éocène supérieur de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur.

Ces trois couches peuvent contenir des niveaux argileux peu perméables mais répartis de manière extrêmement irrégulière. Elles forment une unité hydrogéologique avec des perméabilités moyennes. L'épaisseur varie de 30 à 180 m. La transmissivité globale est de 10⁻³ m²/s, plus élevée dans la partie centrale plus puissante et plus faible (10⁻² à 10⁻⁴ m²/s) au nord.

En Ile-de-France, la nappe est libre dans la partie ouest du Val d'Oise (Vexin), captive à l'est (Plaine de France) et en Brie.

Captées depuis le XVIII^e siècle, les eaux souterraines de cette nappe ont été longtemps surexploitées, surtout dans les zones de Paris et de Saint-Denis, ce qui a engendré un vaste cône de dépression jusqu'à 25 m (fig. 9a). Aujourd'hui, l'exploitation a fortement diminué et la nappe est remontée d'environ 10 m (fig. 9b).

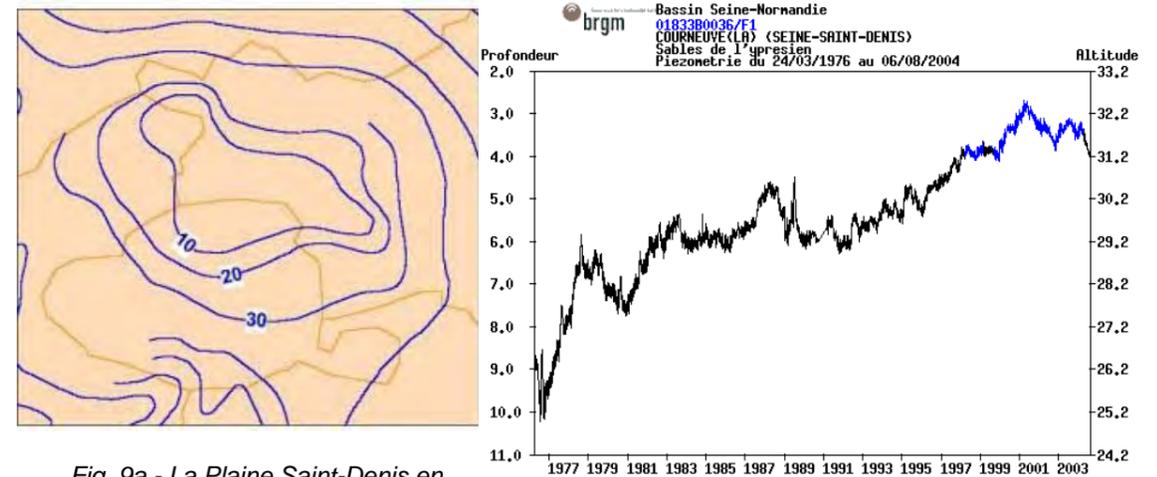


Fig. 9a - La Plaine Saint-Denis en 1970 : « creux » piézométrique créé par les pompages depuis 1830.

Fig. 9b - Évolution du niveau de la nappe de l'Éocène Moyen et Inférieur de 1977 à 2004.

La diminution du cône de rabattement se traduit par des phénomènes de « remontées de nappes » et les constructions, réalisées dans des zones de rabattement, subissent aujourd'hui des inondations dans les sous-sols aujourd'hui.

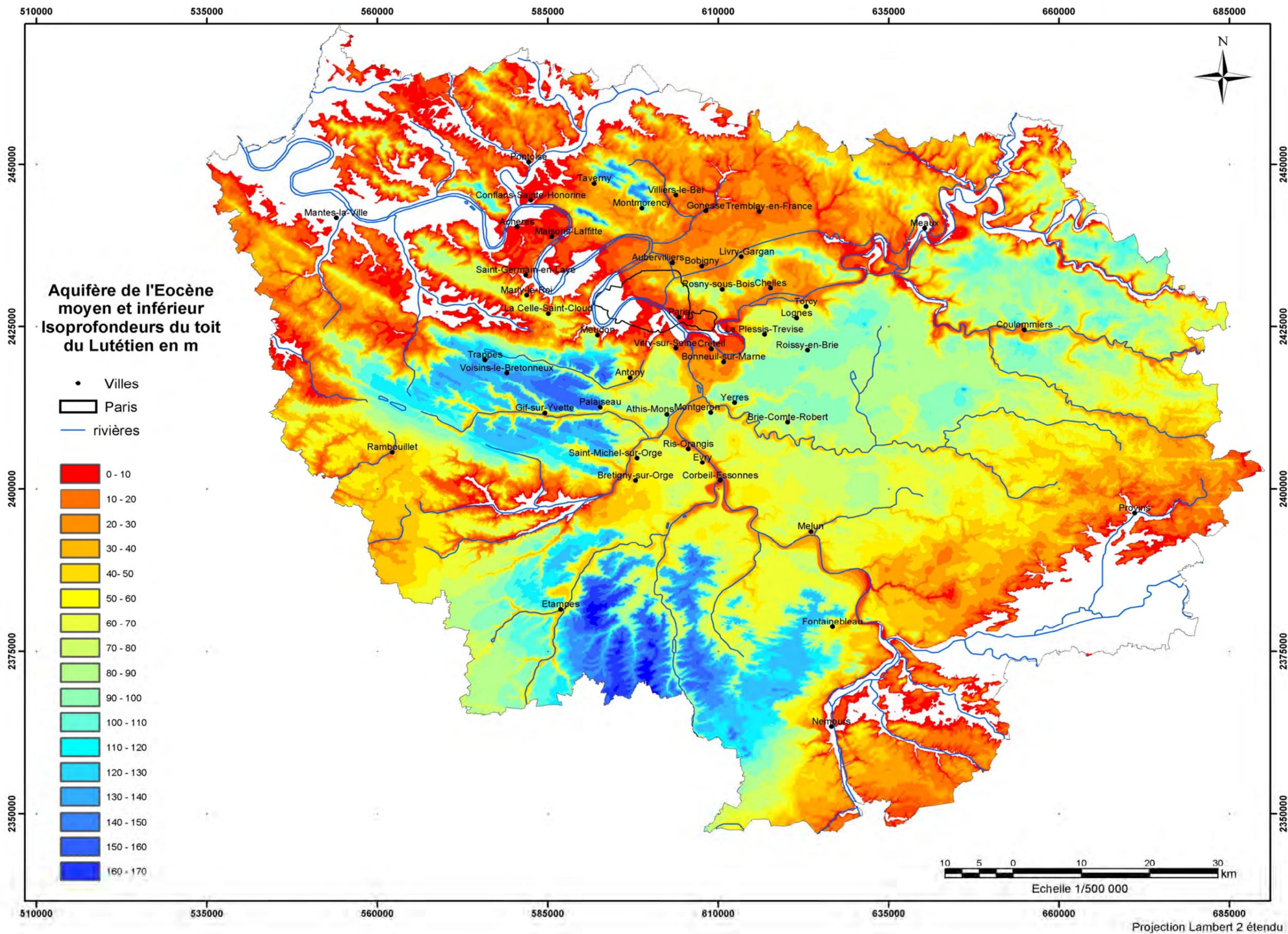
La nappe n'est productrice qu'au nord d'une ligne Rambouillet - Melun - Fontainebleau.

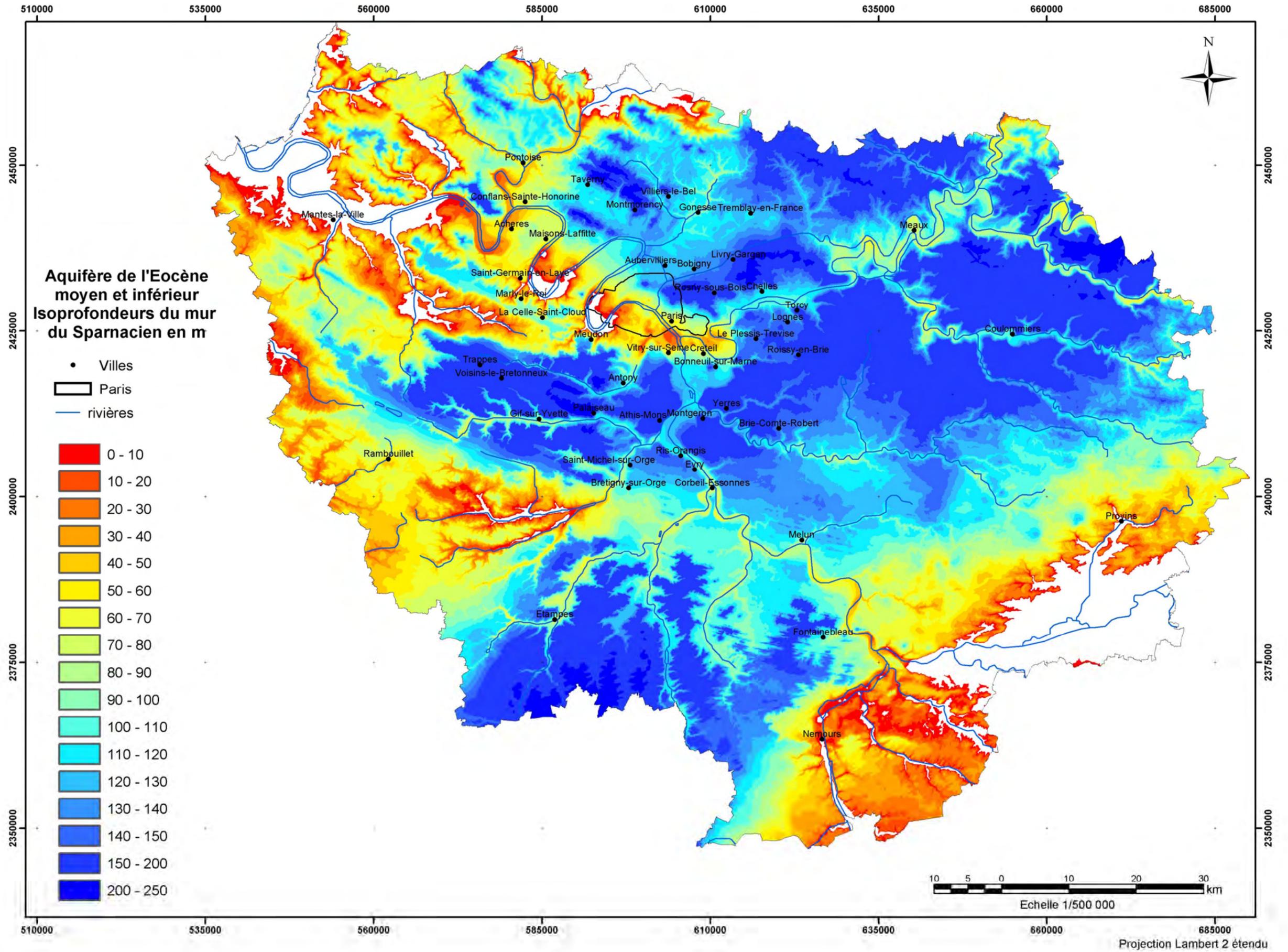
3.3.2. Construction des cartes d'isoprofondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère multicouche de l'Éocène moyen et inférieur

Les deux cartes ci-après représentent la profondeur de la formation géologique par rapport au niveau topographique. Les profondeurs ainsi définies ont été arbitrairement affectées d'une couleur rouge (les moins profondes) jusqu'à des couleurs bleues (les plus profondes).

La première carte qui suit correspond au toit de la formation, la seconde au mur.

Remarque : En ce qui concerne le toit de l'Éocène moyen et inférieur, la carte du toit des Calcaires grossiers du Lutétien Inférieur n'étant pas disponible, c'est la carte du toit du Lutétien, servant de mur à l'aquifère de l'Éocène supérieur sus-jacent, qui a été retenue.





3.3.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1

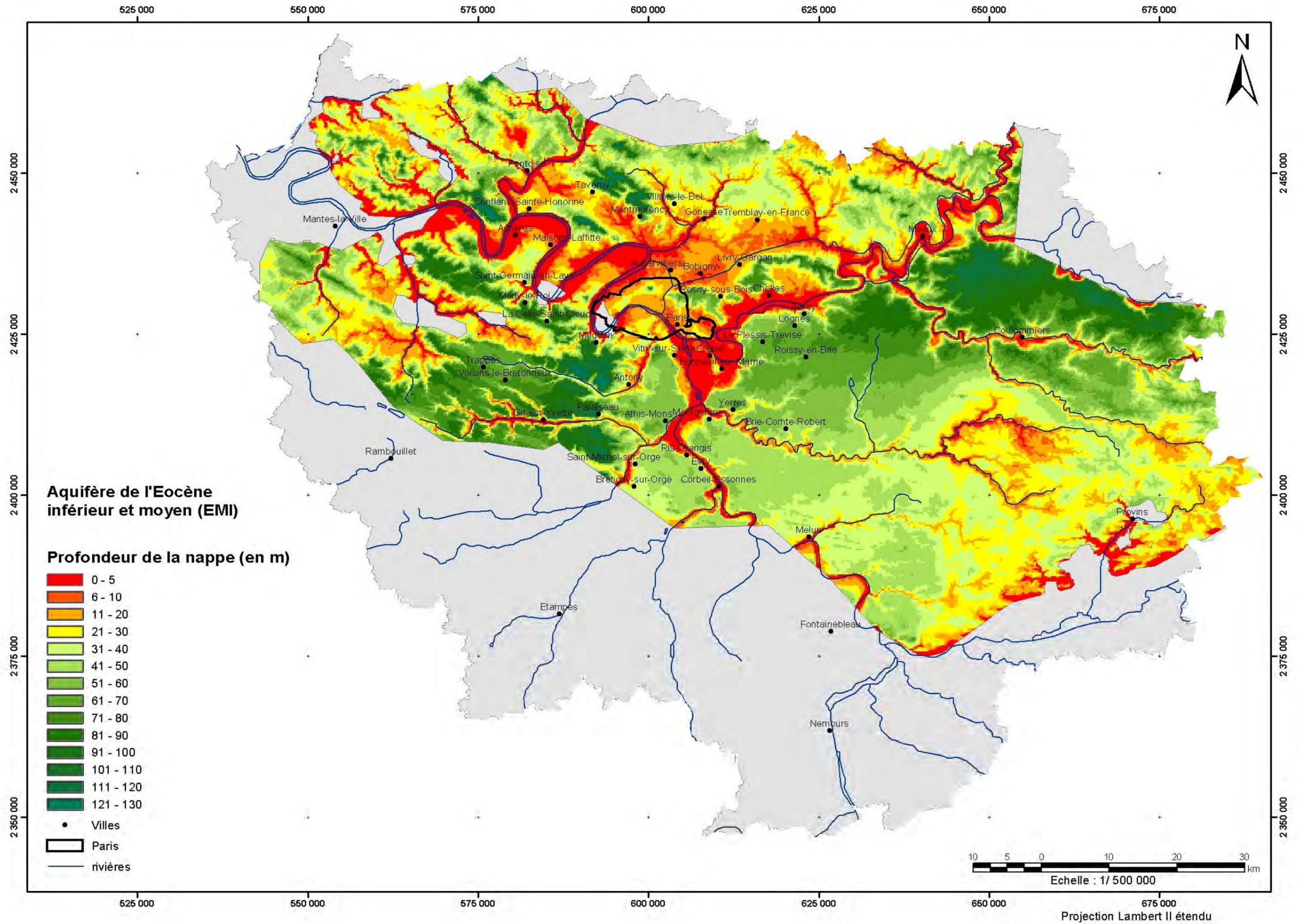
Comme spécifié en préambule du chapitre 3, l'aquifère multicouche de l'Éocène moyen et inférieur est essentiellement composé de trois grands aquifères superposés : Calcaires Grossiers du Lutétien inférieur, Sables de Cuise et Sables du Soissonnais.

Les sources bibliographiques utilisées pour la construction de cette carte sont :

- les cartes piézométriques raccordées extraites de l'étude de mars 1974 intitulée : « Alimentation en eau potable des villes nouvelles du sud-est de la Région parisienne. Note technique n° 6. Relations entre nappe des calcaires de Champigny et celle de l'Yprésien » (rapport BRGM 74 BDP 005 par Berger G., Rampon) ;
- les mesures de niveaux d'eau dans les forages identifiés dans la Banque des données du Sous-Sol pour l'ajustement, notamment, des cartes isopièzes en Seine-Saint-Denis, fortement influencées par les prélèvements.

La carte piézométrique, que l'on trouvera ci-après au format A3 à l'échelle 1/500 000 sous le titre « Aquifère de l'Éocène moyen et inférieur - Profondeur de la nappe en m », est construite, comme dans les deux cas précédents, sur des tranches de profondeur de 5 m allant de la surface du sol à 85 m de profondeur. Les tranches supérieures, considérées comme les moins intéressantes du fait de leur vulnérabilité (effets du climat et pollutions, peu adaptés à la réalisation de puits d'injection efficaces) sont identifiées en couleur rouge, les tranches moyennement profondes en orange puis en jaune, enfin, les tranches de profondeurs les plus importantes sont matérialisées en vert, du plus clair au plus foncé.

On notera que les profondeurs peu propices à une exploitation sont situées à l'est et au sud-ouest de la région et dans les fonds de vallées.



3.3.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur répondant au critère n° 2

L'aquifère multicouches de l'Éocène moyen et inférieur est analysé toutes couches incluses.

Les épaisseurs maximales, jusqu'à 60 m avec un minimum de 20 m, se rencontrent en Brie et au nord de la Seine et de la Marne.

Au sud, l'épaisseur est moindre et très réduite ou nulle sur les anticlinaux de Beynes et de Remarde.

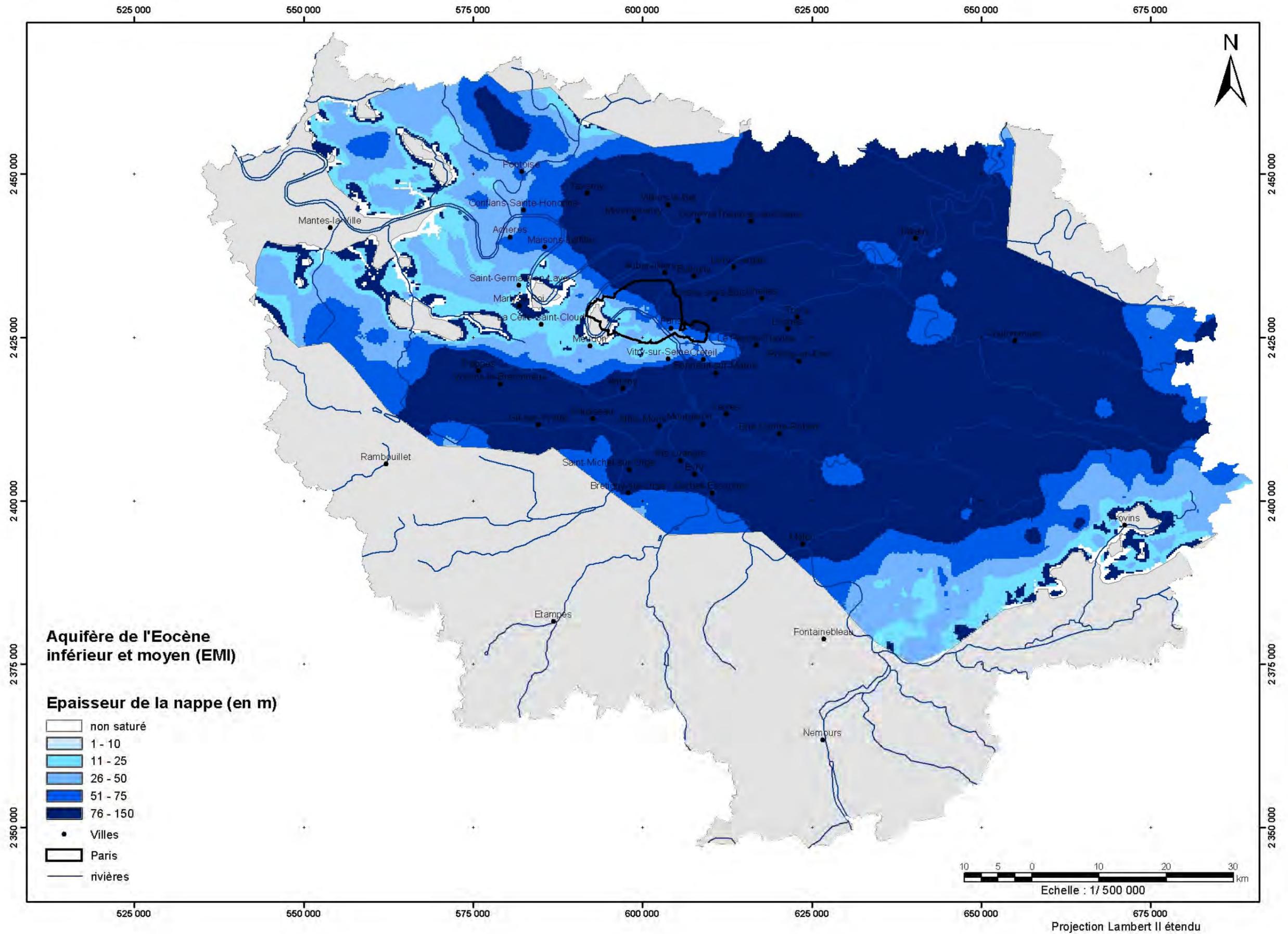
Dans « l'Atlas des nappes aquifères de la région parisienne », on distingue les zones suivantes :

- Parisis-Goële – Multien, au nord de l'Ile-de-France : il s'agit de formations calcaires, marneuses et gypseuses sur 20-50 m d'épaisseur pour le Lutétien et des formations sableuses et argileuses sur 20-70 m d'épaisseur dans les sables ;
- le Vexin au nord-ouest de l'Oise et de la Seine où on trouve des formations calcaires de 30 à 50 m d'épaisseur ;
- l'anticlinal de Beynes, rive gauche de la Seine en aval de Paris, composé de calcaires marneux sur 10 à 30 m d'épaisseur ;
- la Brie au sud-est de la région où on trouve des formations de calcaires marneux de 0 à 60 m d'épaisseur. L'Yprésien (formations sableuses) présente une épaisseur plus faible de 0 à 20 m ;
- l'Hurepoix, la Bière et la Beauce au sud-ouest de l'Ile-de-France composé de formations calcaires ou sableuses sur 0 à 20 m d'épaisseur.

La carte présentée ci-après, dans le même format que celles relatives aux deux aquifères multicouches précédents, sous le titre « Aquifère de l'Éocène Moyen et Inférieur - Epaisseur de la nappe en m » est construite à partir de 5 tranches d'épaisseurs allant de 1 m à 150 m, correspondant aux tranches des critères utilisées pour le croisement des données pour la carte finale.

Les zones non saturées de la nappe, c'est-à-dire dans lesquelles aucune ressource en eau n'a été identifiée, sont représentées en blanc.

Cette carte est construite à partir des mêmes sources que la carte des profondeurs de la nappe ainsi qu'à partir de la carte d'isoprofondeurs du mur de l'aquifère présentée au chapitre 3.3.2 ci-dessus.



3.3.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de l'Éocène moyen et inférieur répondant au critère n° 3

Les documents source utilisés pour la construction de cette carte, notamment l'Atlas des nappes aquifères de la région parisienne et la synthèse réalisée par Claude Mégnien en 1979, permettent de distinguer les zones hydrochimiques suivantes :

- le Vexin au nord-ouest où l'aquifère présente des eaux relativement peu minéralisées. Cette région est caractérisée par des gradients importants conduisant à un renouvellement important de l'eau ;
- la zone du synclinal de l'Eure et de l'Hurepoix et ses bordures avec une minéralisation moyenne ;
- le Parisien et le Multien ont des eaux nettement plus minéralisées, notamment en sulfates (gypses des Marnes et Caillasses) ;
- le fossé de Draveil et le nord de la Brie, au centre de la région septentrionale, présentent des eaux très minéralisées en sulfate et en fer, dues à une faible vitesse d'écoulement, un faible renouvellement de l'eau dans l'aquifère et au faciès gypseux des Marnes et Caillasses ;
- le sud-est avec la Beauce montre une minéralisation très faible.

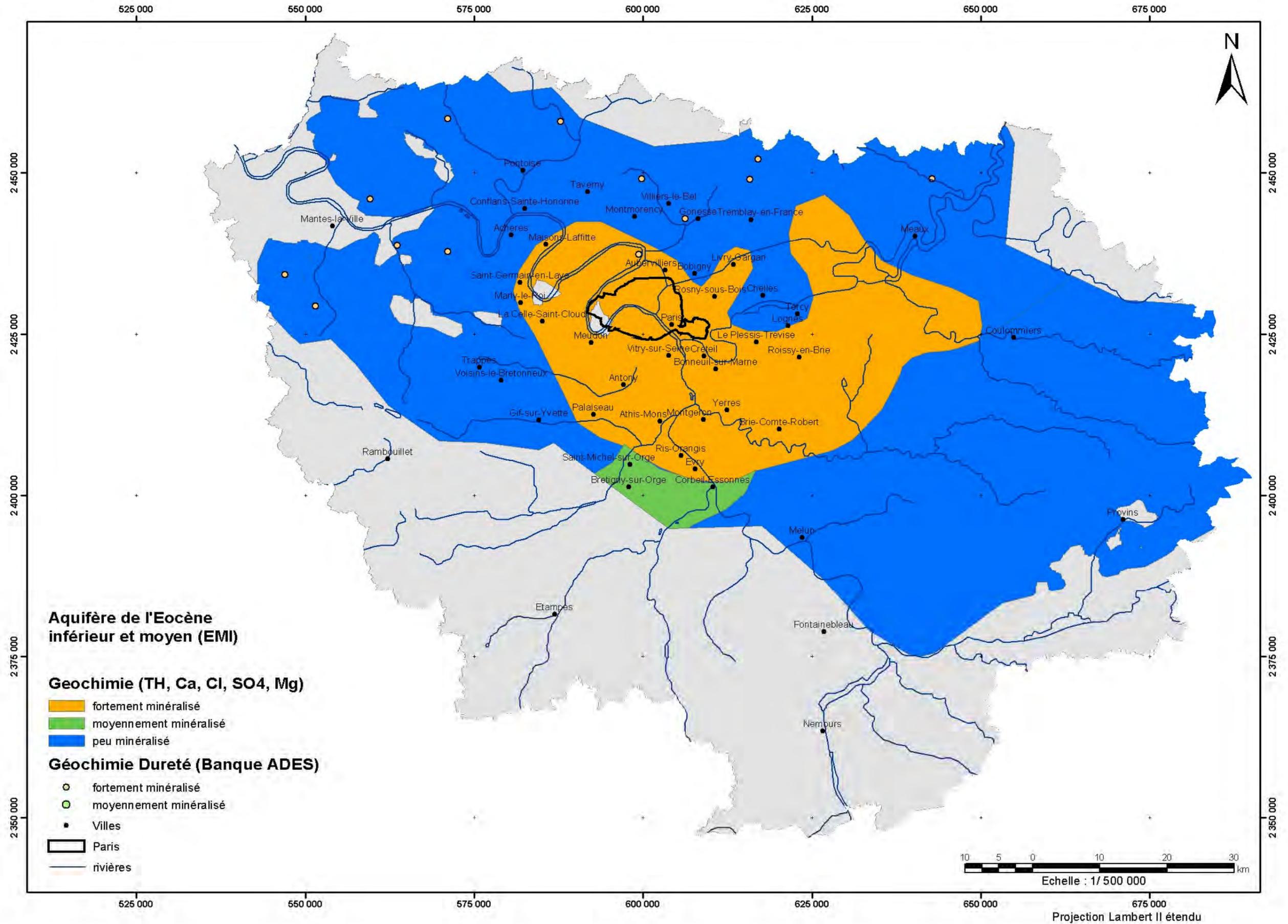
Dans le détail, on peut observer des valeurs très différentes par couche aquifère à l'intérieur du système multicouche. Cl. Mégnien, dans l'étude réalisée en 1979, montre que la minéralisation est trois fois plus élevée dans les marnes et caillasses du Lutétien supérieur (toit de l'aquifère de l'Éocène Moyen et Inférieur) que dans les autres aquifères.

Ces contrastes étant atténués par mélange des eaux, le Lutétien (Calcaires grossiers), très riche en gypse et l'Yprésien (Sables de Cuise), riche en fer, sont très minéralisés dans les zones où la circulation des eaux est limitée.

On peut noter que les zones fortement minéralisées sont aussi celles où la concentration en **sulfates** est élevée. Dans le Vexin, les teneurs en sulfates sont importantes (100 à 200 mg/l) dans un secteur limité par les localités d'Hérouville-Fremecourt-Ennery car la nappe captive contenue dans les Calcaires grossiers du Lutétien est saturée par lessivage des formations gypseuses.

Dans le Vexin, les teneurs en **fer** ne sont importantes que dans la basse vallée de la Viosne (> 0,2 mg/m³).

La moyenne des **duretés** des fluides contenus dans cet aquifère, calculée sur 62 points relevés dans la Base ADES, s'établit à 43°f. La dureté est plus importante au nord de Paris et plus faible à l'ouest, dans les zones d'affleurement de l'aquifère. Comme pour la minéralisation, les valeurs de dureté sont plus élevées (supérieures à 45°f) dans les zones où la nappe est captive.



3.4. AQUIFÈRE DE LA CRAIE

3.4.1. Caractéristiques de l'aquifère de la Craie

La formation de la Craie (Crétacé supérieur) qui correspond au substratum des formations tertiaires de l'Ile-de-France est rarement affleurante. La Craie affleure au sud-est de l'Ile-de-France, à l'extrémité nord-ouest dans les vallées en aval de la Seine et dans la vallée de l'Oise au nord avec une surface d'environ 500 km².

La Craie représente le premier aquifère libre du bassin de la Seine en regard de sa surface d'affleurement et de l'importance de son épaisseur. Par contre, sous les formations tertiaires d'Ile-de-France, la nappe devient captive et peu productive.

Les zones suivantes peuvent être distinguées :

- la Craie recouverte par des formations imperméables (terrains du Tertiaire au sud de l'IDF) ;
- les zones en bordure des formations imperméables, avec un système karstique parfois très important ;
- les affleurements de la Craie vers les plateaux. Dans ces zones d'affleurement, la nappe de la Craie est fissurée. Certaines zones présentent une karstification très développée où l'écoulement souterrain peut être très rapide. Les variations latérales de faciès, dues aux apports de sédiments argileux, sont fréquentes.

L'aquifère est très important du fait de l'épaisseur maximale utile (60 m) de la formation crayeuse. La perméabilité, qui définit la vitesse de l'écoulement dans l'aquifère, peut être importante dans les zones fracturées et sous les vallées. Cette observation, conjuguée avec la précédente relative à la faible productivité de cet aquifère dans les zones recouvertes permet de conclure que l'intérêt de la Craie, du point de vue de l'exploitabilité, se situe dans les zones où elle est quasi affleurante et donc plus fracturée. Ceci explique pourquoi, nous n'avons retenu que ces zones pour la cartographie de l'aquifère de la Craie dans les chapitres suivants.

Parallèlement, cet aquifère peut stocker de grands volumes d'eau grâce à sa double porosité : celle de la matrice qui peut atteindre 40 % et celle des diaclases (fractures). Le coefficient d'emménagement, qui exprime la porosité globale utile, ne dépasse toutefois pas 5 à 9 % à proximité des vallées en présence de diaclases. Les zones de plateaux présentent un coefficient d'emménagement de 1 à 2 %. La capacité de stockage des eaux souterraines y est donc importante, sauf en zones de karst où elle est très faible.

La surface piézométrique montre un écoulement général des plateaux vers les thalwegs. La nappe est en général plus profonde sous les plateaux, fréquemment de 40 à 50 m, et se raccorde au niveau des alluvions. Une faible profondeur sous les plateaux confirme une faible perméabilité due à une fissuration, elle-même faible, notamment en proximité du recouvrement tertiaire de l'Ile-de-France.

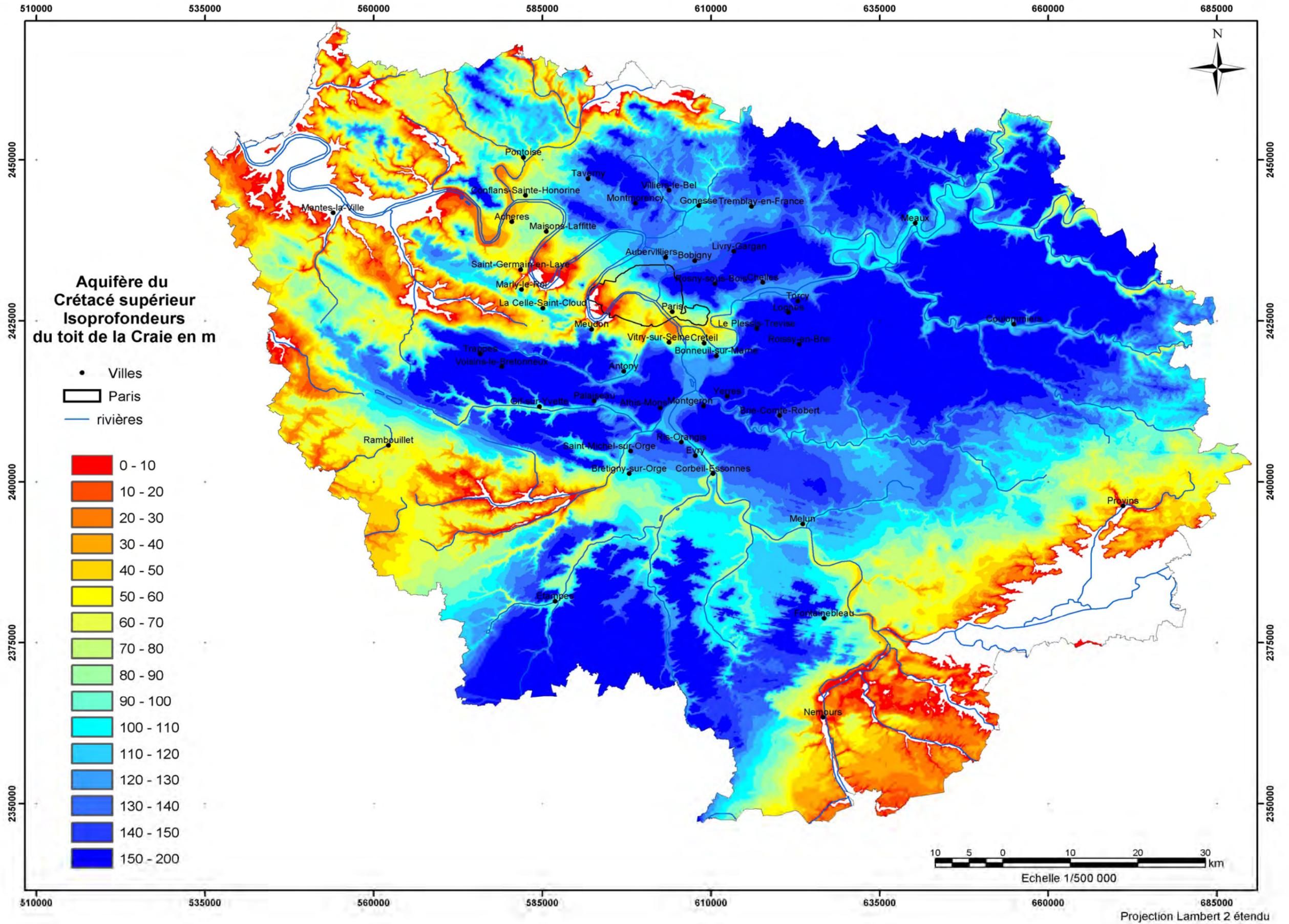
Cet aquifère est également caractérisé par des amplitudes de fluctuation très variables dans les zones de profondeur importante de la nappe. Ces amplitudes peuvent être de plus de 20 m. Signalons, par exemple, que les remontées de cette nappe en 2001 ont provoqué des inondations à l'ouest de l'Ile-de-France.

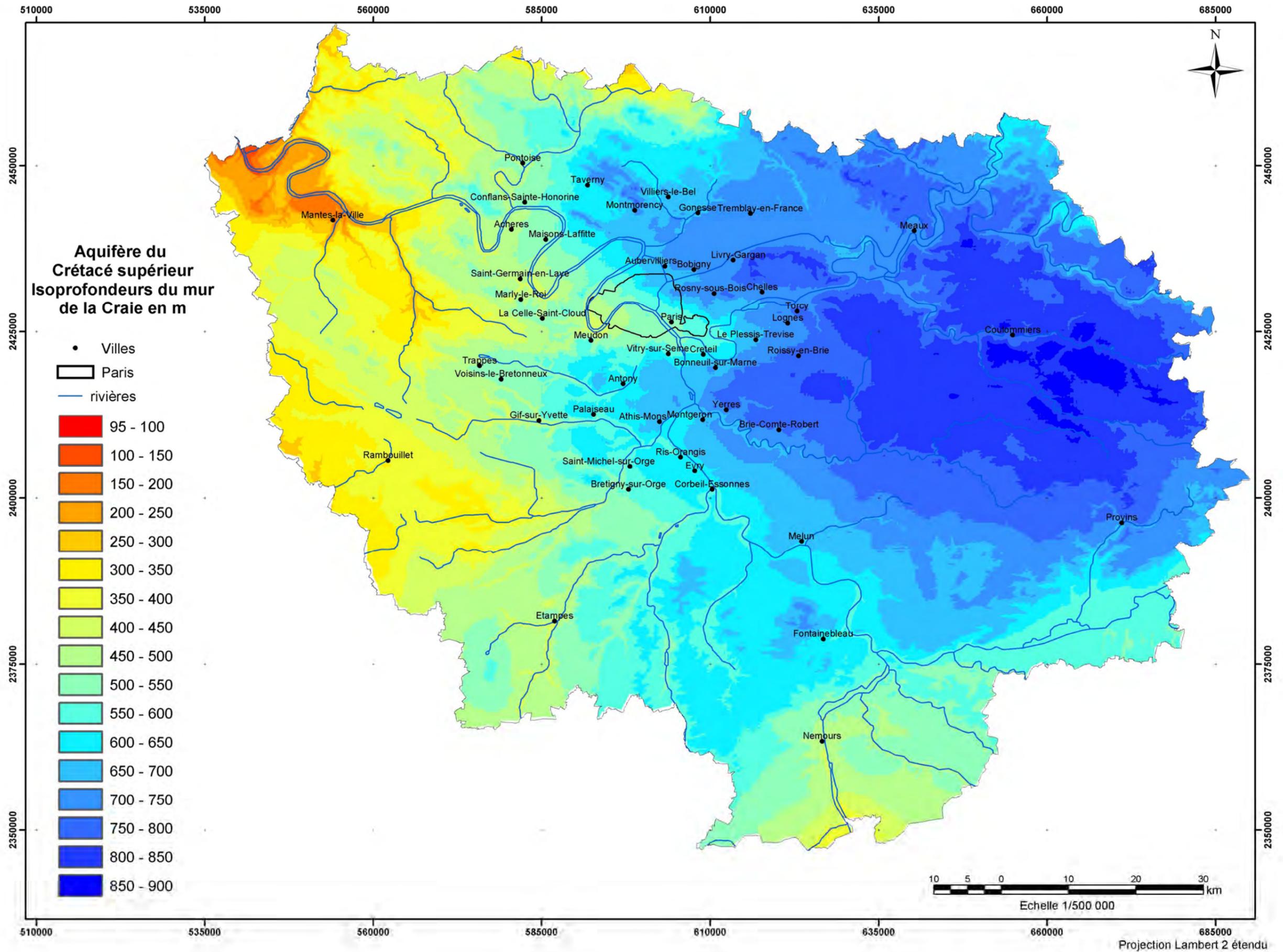
Les sources d'émergences de la Craie dans les vallées sont importantes et peuvent produire de grands débits. Des sources peuvent également apparaître au contact de la Craie et des formations tertiaires. L'existence de ces sources caractérise notamment le Sénonais et le Gâtinais témoignant d'une perméabilité locale très élevée.

3.4.2. Construction des cartes d'isop profondeurs du toit et du mur des formations géologiques abritant l'aquifère de la Craie

Les deux cartes ci-après représentent la profondeur de la formation géologique par rapport au niveau topographique (niveau du sol). Les profondeurs ainsi définies ont été arbitrairement affectées d'une couleur rouge (les moins profondes) jusqu'à des couleurs bleues (les plus profondes).

La première carte qui suit correspond au toit de la formation, la seconde au mur.



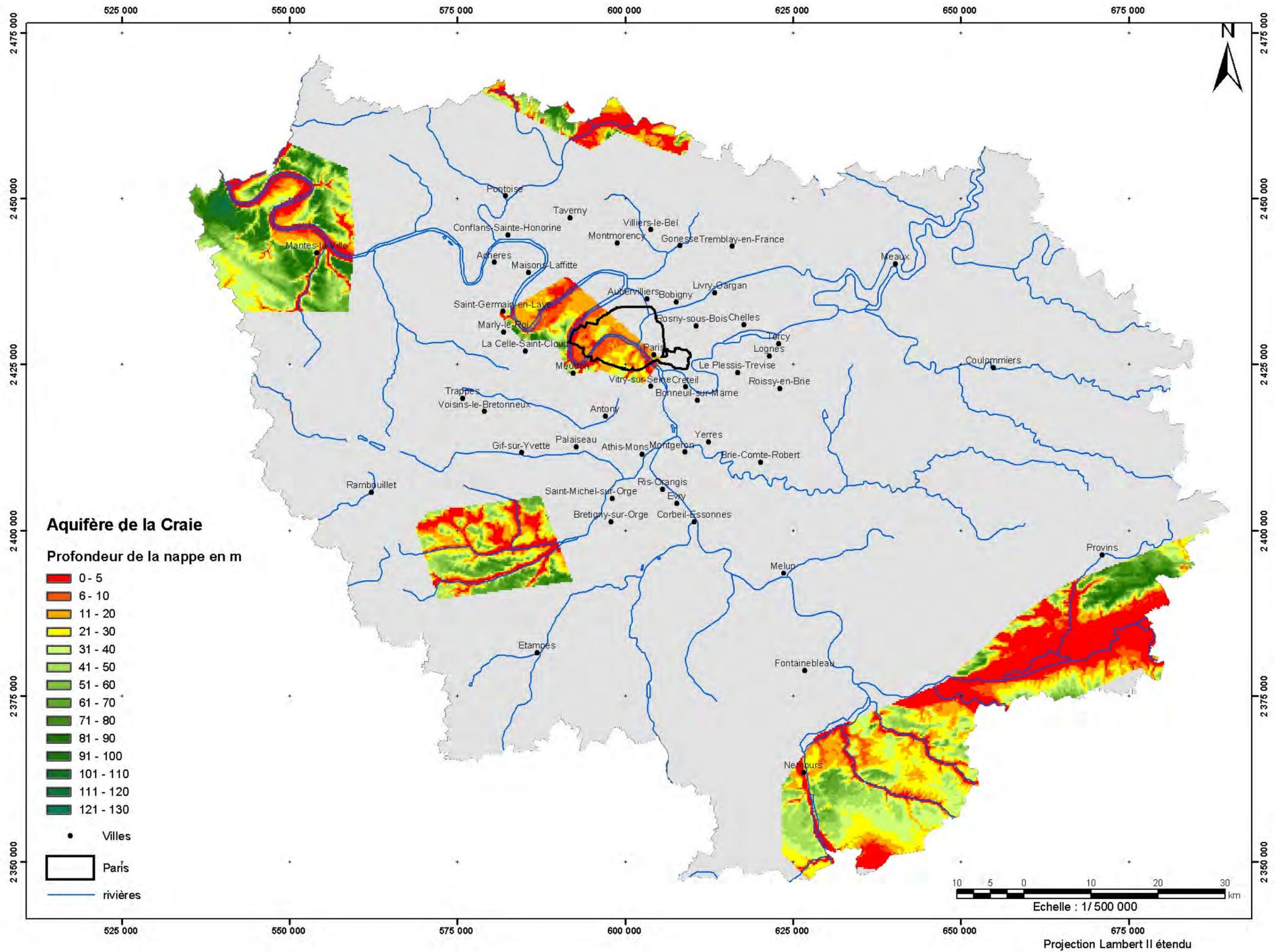


3.4.3. Construction de la carte de profondeur de la nappe de la Craie (ou carte piézométrique) répondant au critère n° 1

La Craie affleure dans cinq zones non continues, au niveau des basses vallées où elle remonte en structure anticlinale.

Pour la réalisation de la carte des profondeurs de chacune de ces zones, les sources ont été les suivantes :

- zone sud-est à la limite de la frontière de la région (Cuesta d'Ile-de-France) : mémoire BRGM n° 98 et rapports BRGM DSGR.63.A40 et DSGR.63.A30 ;
- zone centrale, partie sud de la carte (Anticlinal de Remarde et de Beyne Meudon) : surface piézométrique construite à partir de points relevés dans la Banque BSS et de la carte extraite de l'Atlas des nappes aquifères d'Ile-de-France ;
- zone ouest en partie avale du Val de Seine (Saint Hilliers Vernon) : surface piézométrique construite à partir de points relevés dans la Banque BSS et de la carte extraite de l'Atlas des nappes aquifères d'Ile-de-France ;
- zone nord en amont de la vallée de l'Oise (Anticlinal du Bray) : surface piézométrique construite à partir de points relevés dans la Banque BSS et de la carte extraite de l'Atlas des nappes aquifères d'Ile-de-France.

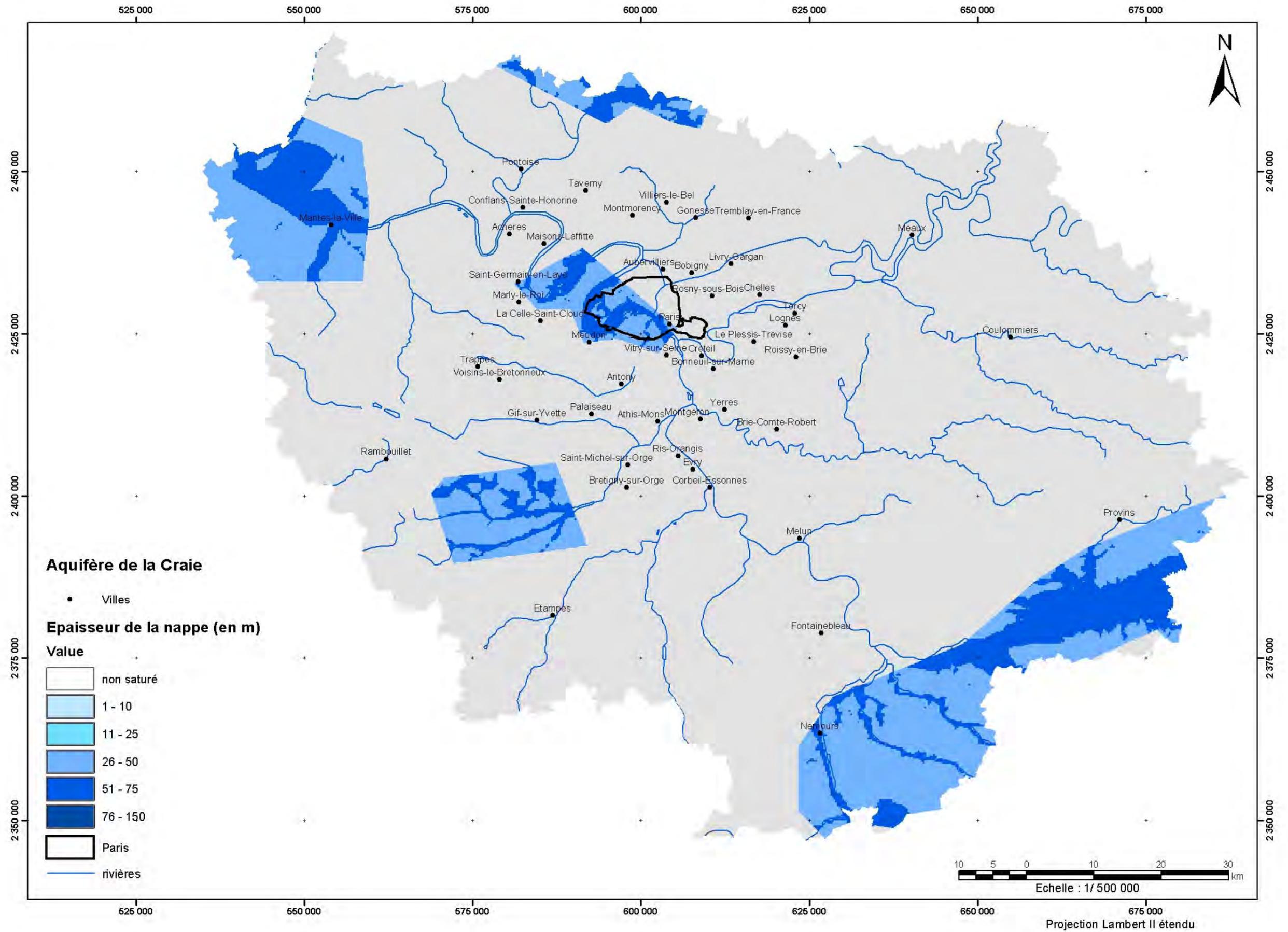


3.4.4. Construction de la carte d'épaisseur de la nappe de la Craie répondant au critère n° 2

L'épaisseur efficace de la nappe étant inscrite dans l'intervalle réduit 30-50 m, explique que la distribution des transmissivités est directement corrélée à la distribution des perméabilités.

On peut également distinguer des zones fortement sollicitées tectoniquement (zones de strates plissées en anticlinaux/synclinaux et zones de failles) où la fracturation et la fissuration est plus importante comme c'est le cas au niveau de la faille de la Seine.

La carte présentée ci-après, dans le même format que celles relatives aux deux aquifères multicouches précédents, sous le titre « Aquifère de la Craie - Épaisseur de la nappe en m » est construite à partir de cinq tranches d'épaisseurs allant de 1 m à 150 m.



3.4.5. Construction de la carte d'hydrochimie de la nappe de la Craie répondant au critère n° 3

Les zones d'affleurement de la Craie disposant d'une perméabilité élevée présentent une minéralisation généralement faible.

La minéralisation est, par contre, plus importante dans les zones de couverture tertiaire, par lessivage de ces formations.

« L'Atlas des nappes aquifères de la région parisienne » et l'étude de Claude Mégnyen (1979) permettent de distinguer latéralement les zones suivantes :

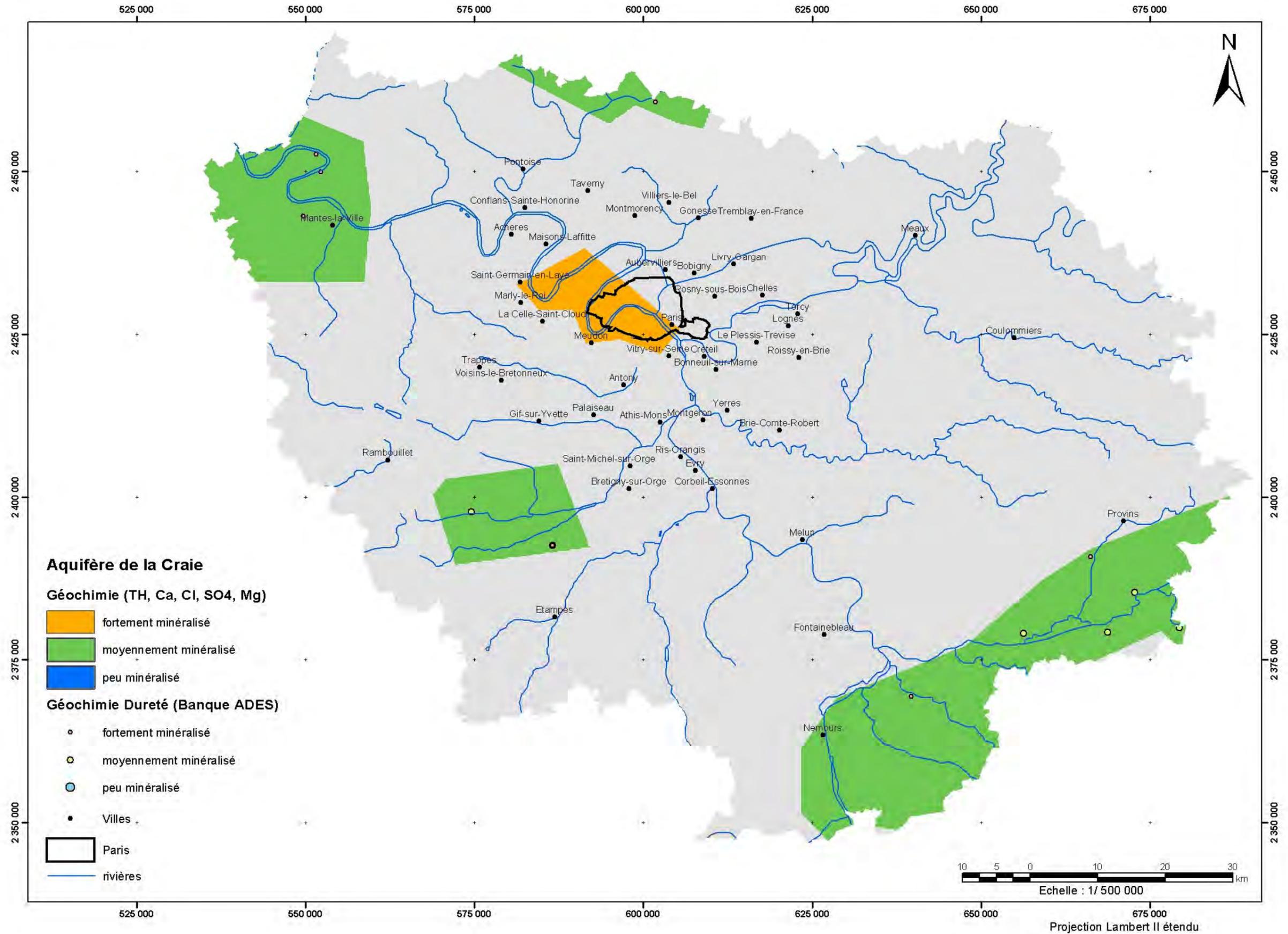
- le Sénonais, le Val de Seine amont et les vallées de la Renarde et de l'Eure où la minéralisation est faible, même si la dureté des fluides contenus par l'aquifère dans ces zones est moyennement élevée ;
- le fluide contenu dans l'aquifère au niveau de la vallée de l'Oise est moyennement minéralisé, mais riche en fer ;
- au niveau des méandres de la Seine en aval de Paris, l'eau de la Craie est très minéralisée et très riche en sulfates et en fer.

Selon Claude Mégnyen, les disparités régionales relevées en ce qui concerne la perméabilité, importante dans les zones d'affleurement mais faible dans les zones sous couverture tertiaire, existent également en ce qui concerne l'hydrochimie de l'aquifère de la Craie.

Ainsi, dans le cas du bassin du Loing-Lunain, sous couverture des terrains tertiaires, l'eau présente une **dureté** de 26,3 °f et une **teneur en sulfate** de 11,7 mg/l.

Dans les zones profondes de l'aquifère non influencées par les terrains de couverture, il existe une stratification hydrochimique.

Sur 61 valeurs relevées dans la Banque ADES, la moyenne de la dureté s'établit à 36°f.



4. Étude de l'exploitabilité des aquifères

4.1. NOTION DE TRANSMISSIVITÉ - APPROCHE DE LA PRODUCTIVITÉ DES AQUIFÈRES

La production d'un captage dans un aquifère est une fonction de son coefficient de perméabilité, K (en m/s) et de son épaisseur, e (en m). C'est pourquoi, le paramètre transmissivité, notée T (en m^2/s) a été créé dont la valeur est le produit de K par e .

La transmissivité régit le débit d'eau qui s'écoule, par unité de largeur, d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique.

Incluant l'épaisseur de l'aquifère, elle permet de représenter les zones de productivité sur les cartes. Elle est mesurée sur le terrain lors des pompages d'essai réalisés en fin de forage, ce qui explique que les valeurs obtenues sont extrêmement dépendantes de la qualité de réalisation du forage comme il a été dit précédemment.

Différentes études ont procédé à des comparaisons entre transmissivité et débit spécifique (débit en m^3/h par mètre de captage) et abordent l'incertitude de cette relation. Le débit spécifique dépend des caractéristiques géohydrauliques de l'aquifère au voisinage du puits et de la nature du puits lui-même.

Dans un aquifère libre, le débit et le rabattement (niveau hydrodynamique de l'eau dans le puits à un débit donné) ne sont pas linéaires et le débit spécifique est alors dépendant du choix de ces deux composantes.

Le débit spécifique caractérise également l'état du puits par rapport à l'origine et permet ainsi d'évaluer son évolution.

Un calcul théorique, établi à partir de la relation $Q_{\text{spécifique}} (m^3/h/m) = T (m^2/s) * 3\,600$, permet d'obtenir une première approche grossière du débit. En général, ce débit théorique est inférieur au débit réellement mesuré qui dépend des paramètres du puits.

Cette valeur théorique (directement liée à la transmissivité) est comparée dans la suite au débit spécifique (Q_{sp}) mesuré afin de fixer les idées et de préciser, autant que possible, la productivité des aquifères retenus.

Une relation plus précise entre transmissivité et débit spécifique peut être obtenue par la formule de Dupuit :

$$T = [(Q/s) / 2,73] * \log_{10} R/r$$

où Q : débit exprimé en m^3/s ,
 S : rabattement en m,

T : transmissivité de l'aquifère,
R : rayon d'action du forage,
r : rayon du forage.

D'une façon générale, l'analyse des diverses études comparant les débits spécifiques à la transmissivité permet de démontrer que **le débit spécifique peut raisonnablement varier de 0,5 à 1,5 fois la valeur de la transmissivité** sur la zone considérée.

Les sources principales de distinction des valeurs de transmissivité proviennent de la banque de données des transmissivités du BRGM Ile-de-France, de l'étude de Claude Mégnien de 1979 et de l'étude « Évaluation du potentiel thermique des nappes aquifères peu profondes (0 à 100 m) en Ile-de-France », de mars 1983.

Une analyse statistique des débits maximums (Q_{max}) obtenus lors d'essais de puits, extraits de la banque des données du BRGM Ile-de-France permet d'obtenir le graphe présenté sur la figure 10 suivante :

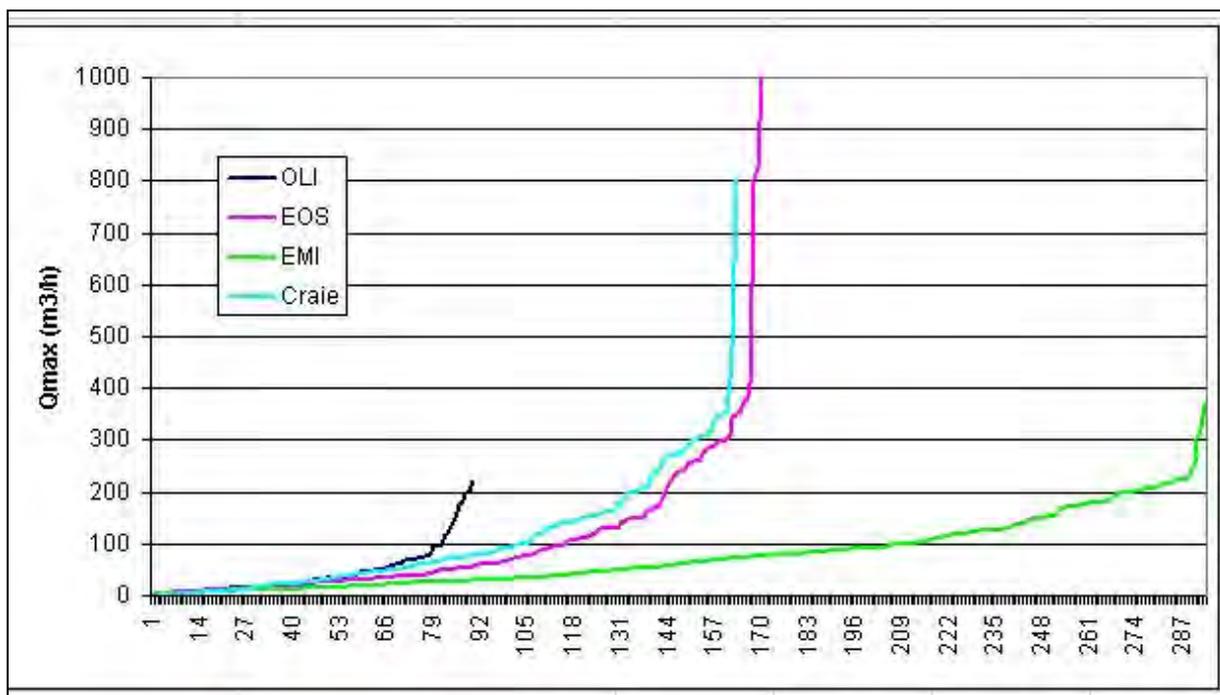


Fig. 10 - Répartition statistique des débits maximums obtenus par échantillonnage pour chaque formation aquifère.

Ce graphe est construit à partir d'un certain nombre de valeurs de débits maximums obtenues dans des puits réalisés en Ile-de-France exploitant chacun des quatre grands aquifères multicouches étudiés. Les informations suivantes peuvent en être extraites :

| Aquifère | Nombre de valeurs | Débit maximum (m ³ /h) | Débit minimum (m ³ /h) | Débit moyen (m ³ /h) | Écart type |
|---------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|
| Oligocène | 90 | 220 | 1 | 45 | 48,5 |
| Éocène Sup. | 171 | 1010 | 1 | 109 | 157 |
| Éocène M et I | 293 | 370 | 2 | 78 | 67 |
| Craie | 164 | 800 | 1 | 107 | 115 |

Les chapitres suivants décrivent les valeurs de transmissivités connues par système aquifère et de débits spécifiques estimés ou mesurés.

4.2. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'OLIGOCÈNE

L'aquifère multicouche de l'Oligocène est important dans le sud-ouest de la région, au voisinage du département des Yvelines et surtout dans la Beauce où il inclut les Calcaires de Beauce, les Sables de Fontainebleau et les Calcaires de Brie.

4.2.1. Calcaires de Brie

Vers le nord et le nord-est, seuls les Calcaires de Brie représentent cet aquifère multicouche. Affleurant à l'est de la région, il est très sensible à la pluviométrie et son épaisseur moyenne de 5 à 6 m lui confère logiquement une faible épaisseur mouillée.

En conséquence, les valeurs de perméabilité y sont extrêmement dispersées avec une médiane de 7.10^{-4} m/s. Cependant et de façon générale, la perméabilité de cette formation est élevée : 69 % des points de mesure ont une perméabilité inférieure à 9.10^{-3} m/s et 10 %, une valeur supérieure à $3,5.10^{-3}$ m/s. On n'observe pas de différence de distribution des valeurs entre les vallées et les plateaux.

4.2.2. Aquifère de l'Oligocène

L'étude de l'aquifère multicouche de l'Oligocène (rapport BRGM R40571 de mars 1999) distingue les zones suivantes :

- Dans l'ouest, la transmissivité s'étend de $T = 10^{-3}$ à 10^{-2} m²/s avec une moyenne de $T_{\text{moy}} = 5.10^{-3}$ m²/s. Ce qui conduit, compte tenu des éléments de calcul présentés ci-avant à un débit spécifique théorique $Q_{\text{sp théorique}}$ de 3,6 à 36 m³/h/m avec une moyenne de 18 m³/h/m.

Ces valeurs permettent de calculer une productivité, exprimée en débit maximum instantané, inscrite dans la plage : 9 - 27 m³/h/m.

Compte tenu d'une épaisseur de l'aquifère de 5 à 25 m sur la zone, les débits maximums instantanés attendus s'inscrivent dans la plage **45 à 675 m³/h avec une moyenne à 210 m³/h environ.**

- Dans l'est, en Gâtinais, la transmissivité s'étend sur une plage identique à la précédente avec une T_{moy} de $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Ces valeurs conduisent à un $Q_{\text{sp}}^{\text{théorique}}$ de 3,6 à 36 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ avec une moyenne à 11 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Ceci conduit à une productivité inscrite dans la plage 5,5 - 16,5 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Compte tenu d'une épaisseur de l'aquifère de 1 à 25 m sur la zone, les débits maximum instantanés attendus s'inscrivent dans la plage **5,5 à 410 m^3/h avec une moyenne à 200 m^3/h environ.**

- Dans le nord-ouest et en zone centrale, la transmissivité s'étend également sur une plage identique aux précédentes, ce qui conduit à un débit spécifique théorique $Q_{\text{sp}}^{\text{théorique}}$ de 3,6 à 36 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ et par suite à une productivité de 2 à 50 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

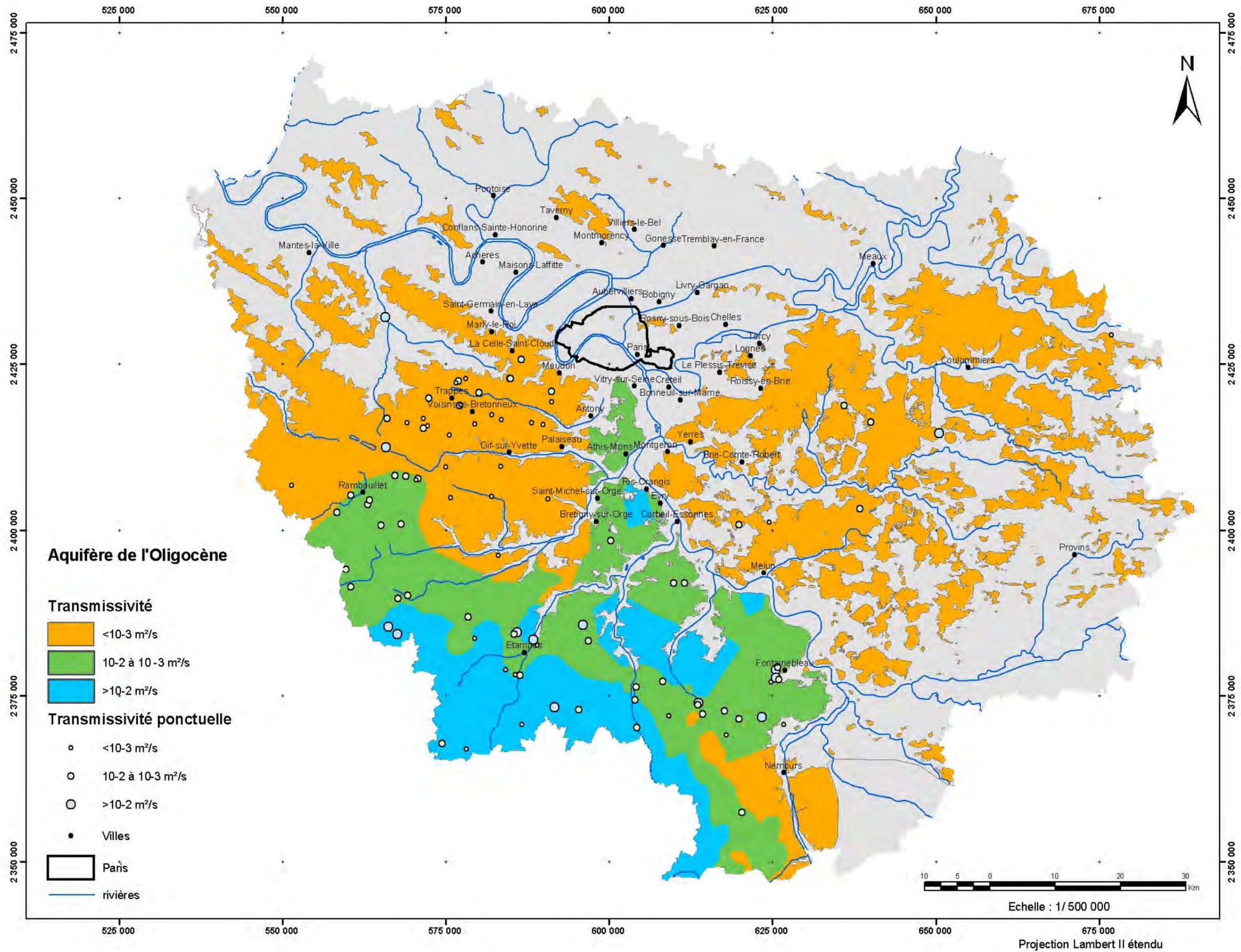
Par contre et compte-tenu de l'amincissement de la nappe dans cette zone à des valeurs comprises entre 1 et 10 m, **les débits maximums instantanés attendus s'inscrivent dans une plage de 2 à 500 m^3/h .**

En zone centrale, l'existence de karts où la transmissivité est mesurée à $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$, peut conduire à des débits spécifiques élevés de l'ordre de 720 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

- Dans les Sables de Fontainebleau, captifs sous les Calcaires d'Etampes, la transmissivité évolue de $T = 2 \cdot 10^{-4}$ à $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, soit dans une plage de $Q_{\text{sp}}^{\text{théorique}}$ de 0,72 à 7,2 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ qui conduit pour des épaisseurs comprises entre 11 et 50 m à des **débits maximum instantanés compris entre 8 et 360 m^3/h .**
- D'une façon générale, l'aquifère de l'Oligocène est représenté par les valeurs de transmissivité mesurées dont la valeur médiane, hors points situés dans les zones karstiques, est de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ce qui conduit à des **débits potentiels maximums instantanés de 50 à 135 m^3/h .** 79 % des points ont une transmissivité inférieure à $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, soit des débits potentiels inférieurs à 350 m^3/h ; 10 % des points ont des valeurs de transmissivité supérieures à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, soit des débits supérieurs à 450 m^3/h .
- Dans les Calcaires de Brie dans la région du même nom, la transmissivité est comprise entre 10^{-4} et $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ conduisant à des débits spécifiques théoriques compris entre 0,36 et 3,6 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, puis à une productivité de 0,2 à 5,5 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Comme dans les zones nord-ouest et centrale, les faibles épaisseurs de l'aquifère conduisent à des **débits potentiels maximums instantanés compris entre 0 et 55 m^3/h .**

Il faut noter ici une particularité de l'aquifère des Calcaires de Brie qui, affleurant à l'est de la région, présente une faible épaisseur mouillée de l'ordre de 5 à 6 m qui conduit à une dispersion importante des valeurs de transmissivité avec une médiane de $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, soit un Q_{sp} théorique moyen de 14 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, une productivité de 7 à 20 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ et donc des débits potentiels maximum instantanés de 35 à 120 m^3/h . 69 % des points de mesure étudiés présentent une transmissivité inférieure à $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, 10% d'entre eux ont des valeurs supérieures à $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.



4.3. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR

L'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur qui comprend, comme il a été écrit en préambule au chapitre 3, les nappes des Calcaires de Champigny, des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp, présente une très forte variabilité de faciès.

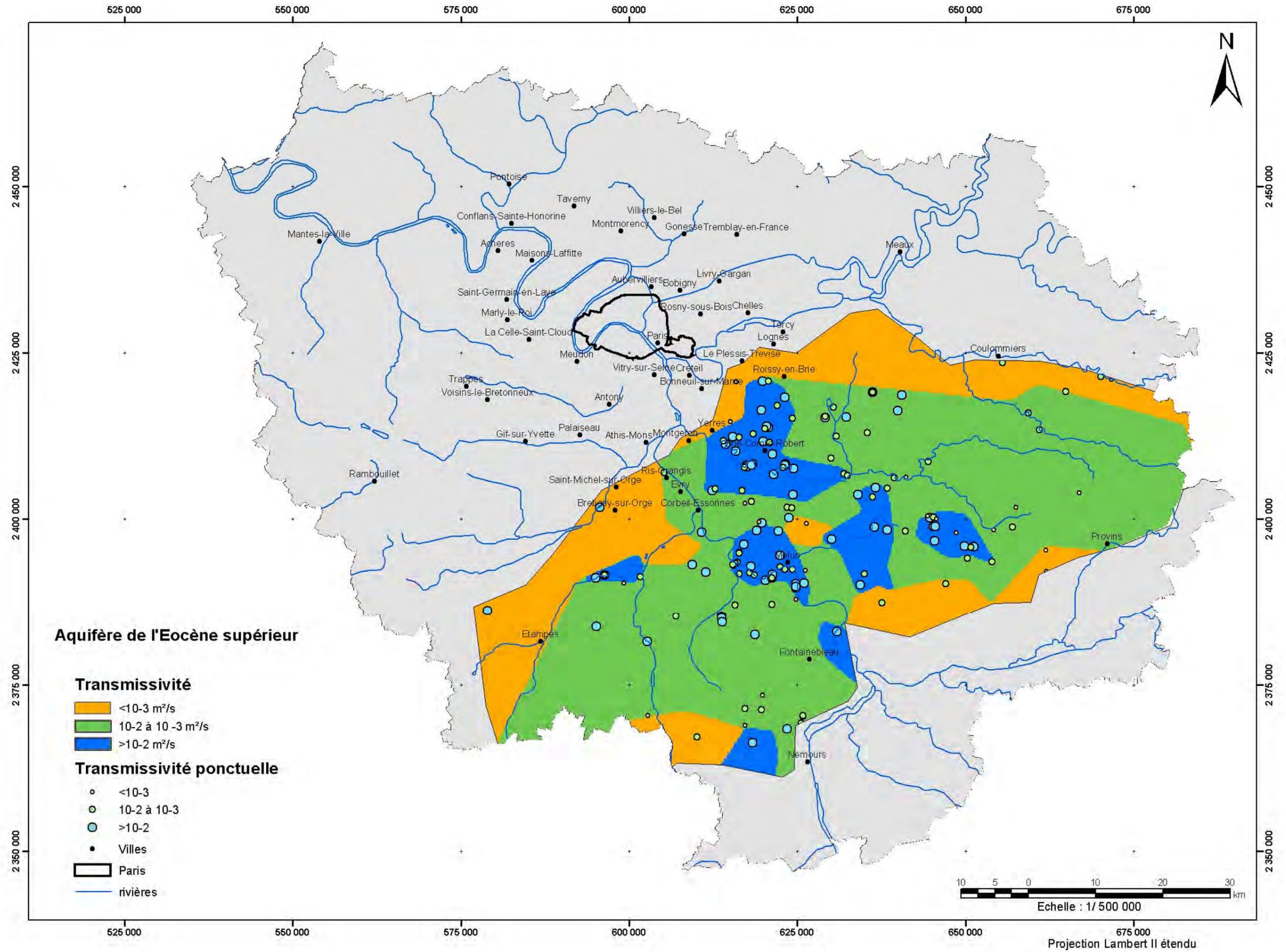
Différentes zones peuvent ainsi être distinguées :

- une zone où la transmissivité est généralement supérieure à 10^{-2} m²/s que l'on trouve dans la basse vallée de la Yerres, dans la région de Nangis et de Melun. Compte tenu des éléments d'estimation présentés en début de chapitre et d'une épaisseur moyenne de l'aquifère importante de 45 m environ, **les débits potentiels maximums instantanés dans ces zones peuvent atteindre 800 m³/h, voire plus de 1 000 m³/h ;**
- à l'inverse dans la zone qui se situe à l'est et au sud-est de la région, la présence de calcaires plus marneux conduit à une transmissivité inférieure à 10^{-3} m²/s permettant, dans les mêmes conditions, d'estimer les **débits potentiels maximums instantanés dans une plage de 70 à 240 m³/h ;**
- enfin, le reste de la surface occupée par l'aquifère multicouche est moyennement perméable.

Statistiquement sur l'ensemble de l'aquifère multicouche, la médiane des transmissivités se situe vers 9.10^{-3} m²/s, soit des débits potentiels maximums instantanés compris entre 70 et 2 000 m³/h en fonction des zones comme précisé ci-dessus, avec une dominante comprise entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s.

Enfin, l'aquifère multicouche de l'Éocène supérieur est en communication avec le réservoir de l'Éocène moyen et inférieur dans les zones où le faciès des marnes et caillasses du Lutétien (voir fig. 2) est remplacé latéralement par des formations plus calcaires.

En conclusion, l'aquifère de l'Éocène supérieur offre une très grande dispersion des transmissivités et donc des débits potentiels.



4.4. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE MULTICOUCHE DE L'ÉOCÈNE MOYEN ET INFÉRIEUR

Un découpage géographique, analogue à celui qui a prévalu pour la construction de la carte des épaisseurs de cet aquifère multicouche, est utilisé.

En terme de **perméabilité**, on distingue :

- la zone de Parisis-Goële – Multien, au nord de l'Ile-de-France où la perméabilité est moyenne pour le Lutétien et les formations sablo-argileuses à environ 3.10^{-4} m/s ;
- le Vexin au nord-ouest de l'Oise et de la Seine où on trouve d'assez bonnes perméabilités de l'ordre de 10^{-3} m/s ;
- l'anticlinal de Beynes, rive gauche de la Seine en aval de Paris, où la perméabilité est également assez bonne, du même ordre de grandeur que précédemment ;
- la Brie au sud-est de la région présente également une perméabilité moyenne de l'ordre de 10^{-3} m/s. Cette zone est la plus vaste en superficie ;
- l'Hurepoix, la Bière et la Beauce au sud-ouest de l'Ile-de-France composé de formations calcaires de mauvaise perméabilité (en moyenne de 8.10^{-5} m/s) ou sableuses d'assez bonne perméabilité (en moyenne de $2,5.10^{-4}$ m/s).

L'étude « Alimentation en Eau des communes rurales du Vexin », réalisée par le BRGM (rapport 76 SGN 348 BDP) précise que les calcaires du Lutétien sont cinq fois plus perméables que les sables de l'Yprésien, mais que les débits spécifiques sont voisins pour les ouvrages qui sollicitent soit l'Yprésien seul, soit l'ensemble Yprésien et Lutétien.

En ce qui concerne la **productivité**, la caractéristique de cet aquifère multicouche est que deux formations aquifères dominant dont le comportement en terme de transmissivité est très différent :

- L'aquifère calcaire du Lutétien généralement plus perméable que les sables de l'Yprésien sous-jacents (jusqu'à cinq fois plus dans la zone géographique du Vexin au nord-ouest de l'Oise) présente toutefois une transmissivité équivalente mesurée à environ 10^{-3} m²/s avec une médiane établie sur 130 points à 4.10^{-3} m²/s. Ces valeurs conduisent à des débits spécifique moyens de l'ordre de 8 m³/h/m pour cet aquifère. Soit pour des épaisseurs de 30 à 50 m dans la **zone du Vexin**, on peut obtenir des **débits maximums instantanés potentiels de 240 à 300 m³/h**.

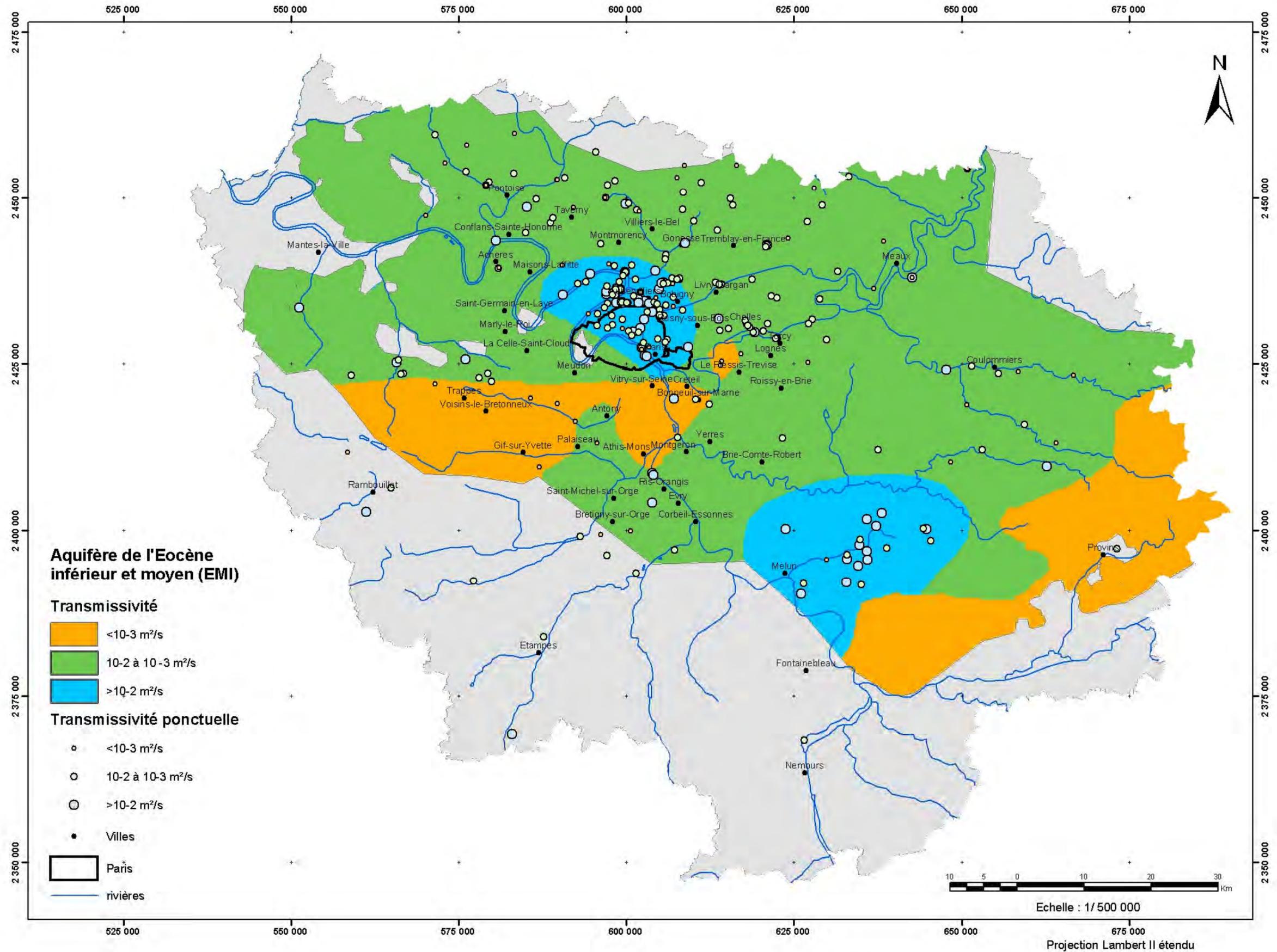
Le Lutétien offre des **débits potentiels maximums de 80 à 240 m³/h** dans la région de l'**anticlinal de Beynes** (rive gauche de la Seine en aval de Paris), ainsi que dans la **Brie** au sud-est de la région (**débit maximum instantané potentiel de 240 m³/h**).

- L'aquifère de l'Yprésien présente, quant à lui, une médiane de perméabilité de 3.10^{-3} m²/s, mesurée sur 66 points, qui conduit à des débits spécifiques moyens de 5 m³/h/m. Dans la zone **Parisis - Goële - Multien**, au nord de l'Ile-de-France, pour des épaisseurs de 20 à 70 m, ces valeurs conduisent à des **débits maximums potentiels de 100 à 350 m³/h**.

À l'inverse, en **Hurepoix**, en **Bière** et en **Beauce**, au sud-ouest de l'Ile-de-France, l'Yprésien offre des **débits maximums instantanés potentiels jusqu'à 100 m³/h**.

En général on constate sur l'ensemble de la région que la productivité double lorsque les deux formations aquifères sont confondues ce qui est le cas notamment au nord de la région. Les débits spécifiques sont alors en moyenne égaux à 10,5 m³/h/m, ce qui peut conduire à des débits maximums instantanés potentiels de 400 m³/h.

Il convient cependant de ne pas oublier que la plupart des points de mesure se situent à moins de 4 km de part et d'autre des vallées. Les valeurs ci-dessus sont alors plus représentatives de ces zones géographiques. Les zones plus éloignées en direction des plateaux présentent des valeurs globalement inférieures conduisant à une dispersion importante de 0,3 à 20 m³/h/m des débits spécifiques.



4.5. DÉBITS MAXIMUMS INSTANTANÉS DISPONIBLES DANS L'AQUIFÈRE DE LA CRAIE

Comme pour la porosité, on peut distinguer deux zones où les valeurs de **perméabilité** diffèrent :

- les zones d'affleurement de l'aquifère de la Craie, à proximité des vallées, où la perméabilité est moyenne à forte avec des valeurs de $K = 10^{-5}$ à 10^{-2} m/s du fait notamment de la présence conjointe de formations alluvionnaires ;
- les zones des plateaux où la perméabilité est plus faible avec des valeurs de $K = 10^{-6}$ à 10^{-7} m/s.

Statistiquement et si on exclut les points de mesure situés dans les zones karstiques, la médiane des valeurs de perméabilité de l'aquifère de la Craie est d'environ $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s avec une dominante entre $2,5 \cdot 10^{-5}$ et $2,5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

73 % des points relevés ont une perméabilité inférieure à $5 \cdot 10^{-4}$ m/s et 10 % d'entre eux, une perméabilité supérieure à $1,25 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Il convient enfin de noter que la plupart des points de mesure se situant à moins de 2 000 m des vallées, la moyenne ci-dessus est alors plus représentative de ces zones basses, les zones plus éloignées, en direction des plateaux, présentant des valeurs inférieures à $7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Nous ne disposons que d'informations très ponctuelles sur la **transmissivité** de la Craie. Ainsi, en comparant ces mesures ponctuelles et les études régionales précédemment citées, les zonages présentés ci-après ont été définis. Comme pour les autres aquifères, ces valeurs devront être vérifiées au coup par coup, lors des études de faisabilité, notamment par l'analyse d'essais de pompage locaux :

- l'étude du BRGM, sur la simulation par modèle des hautes eaux de la Somme (RP-51827-FR), a révélé une distribution des perméabilités qui dépend de la topographie ;
- les vallées présentent une perméabilité très importante générée par un écoulement plus dense des eaux dans ces zones qui a généré un important système de diaclases ;
- les plateaux, au contraire, sous lesquels, la nappe est généralement plus profonde sont soumis à une circulation moins rapide conduisant à des perméabilités est plus faibles.

L'épaisseur mouillée est également calculée en partant des vallées. Trois classes ont été définies en fonction de la profondeur de la nappe directement liée à la distance des vallées :

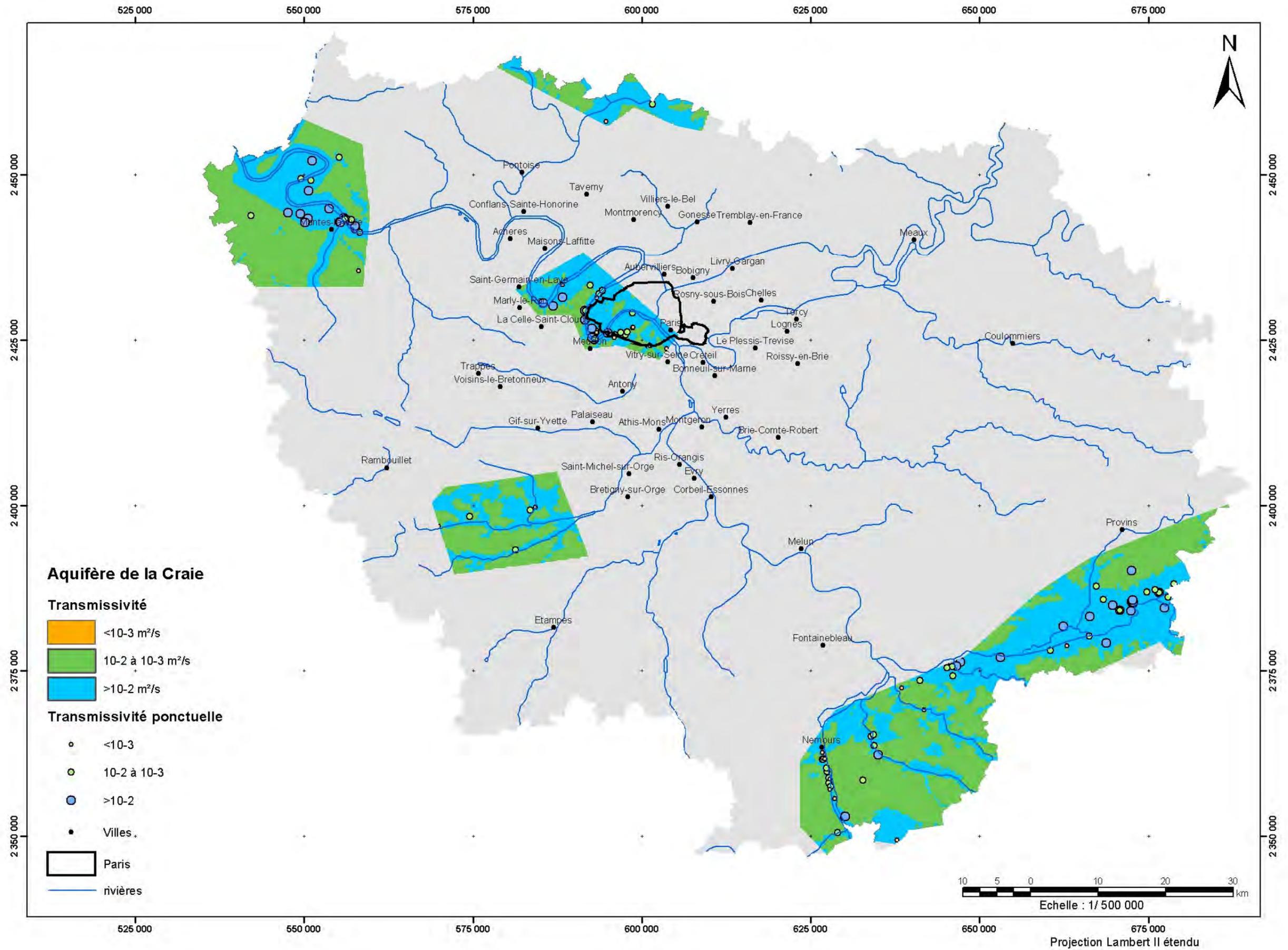
| Profondeur de la nappe | Épaisseur | Perméabilité (moyenne de l'étude RP-51827-FR) |
|------------------------|-----------|---|
| 0-10 m | 60 m | 5.10^{-3} |
| 10-20 m | 40 m | 4.10^{-4} |
| > 20 m | 30 m | 5.10^{-5} |

L'aquifère de la Craie, de puissance généralement comprise entre 30 et 50 m, voit donc sa productivité directement liée à la perméabilité.

En conclusion, cette observation conduit à distinguer comme très productrices les zones situées au voisinage direct des fleuves et rivières ainsi qu'en bordure des formations alluvionnaires et des vallées sèches où la fissuration augmente la perméabilité de fissure.

À l'inverse, la productivité est moins bonne sous les recouvrements tertiaires et sur les plateaux.

Ainsi et en moyenne, la transmissivité est de 6.10^{-3} m²/s dans les premières zones décrites ci-dessus qui offrent des **débits maximums instantanés potentiels de 300 à 800 m³/h**. Elle est de 3.10^{-3} m²/s dans les secondes, permettant l'obtention de **débits maximums instantanés potentiels de 150 à 400 m³/h**.



4.6. CARTES DES DÉBITS POTENTIELS DES QUATRE AQUIFÈRES MULTICOUCHE

Afin de faciliter le travail de prise en compte de la capacité de production thermique des nappes destinée à alimenter une pompe à chaleur, il importe de proposer aux maîtres d'ouvrage potentiels deux étapes d'aide à la décision.

La première étape consiste à vérifier l'exploitabilité des aquifères disponibles au droit d'un éventuel projet, à partir des cartes multicritères telles que présentées au chapitre 5 suivant pour chacun des quatre aquifères multicouches objets de cette étude. À l'issue de cette première étape, le maître d'ouvrage saura si l'énergie géothermique sur nappe aquifère de faible profondeur présente un intérêt pour la fourniture en énergie thermique du futur projet et si la réalisation d'une étude de faisabilité spécifique doit être poursuivie.

La seconde étape consiste alors, dans le cas où un des aquifères présente au droit du projet une exploitabilité forte à très forte, de déterminer les critères d'élaboration du cahier des charges pour le bureau d'étude chargé de la faisabilité du projet. À noter, en complément, que ces critères sont d'autant plus importants à caractériser qu'on se trouvera sur une zone charnière où l'exploitabilité est reconnue comme moyenne.

Les critères utiles sont la température de l'aquifère retenu (on se reportera alors au chapitre 3 du présent rapport) et le débit, déjà évoqué zone par zone de la région en terme de « débit maximum instantané » aux chapitres 4.2. à 4.5. précédents. Cependant, parmi les cartes thématiques réalisées, seule la transmissivité, qui permet d'appréhender la productivité d'un aquifère, a été représentée.

Afin de confier des outils les plus pratiques possible aux utilisateurs non-spécialistes, l'ADEME et EDF ont demandé au BRGM de réaliser des **cartes de débits potentiels** pour chacun des aquifères étudiés.

Ces cartes sont à utiliser avec une grande prudence en ayant conscience des distorsions importantes entre les débits potentiels cartographiés globalement et les données ponctuelles recueillies lors d'essais de débit. Les cartes présentées dans le rapport montrent localement des incohérences dans la mesure ou ces données ne sont pas de même nature

Ces réserves devront être mentionnées aux maîtres d'ouvrages potentiels lors de la diffusion de l'étude, en indiquant notamment que ces cartes n'ont pour seule ambition que d'orienter les prescriptions du cahier des charges du bureau d'étude sous-sol qui réalisera l'étude de faisabilité du projet.

Par ailleurs, il faut prévoir, dès la parution finale de l'étude (rapport, cartes et CD-ROM) un suivi annuel des réalisations opérées dans ce cadre, afin de corriger les cartes de débits potentiels pour chaque aquifère, à partir de l'analyse précise des débits réels obtenus par chacun des ouvrages réalisés, en prenant en compte les caractéristiques du puits (diamètre et profondeur notamment), ainsi que le type d'essai pratiqué. Une reprise de cartographie pourrait être ainsi opérée à l'issue d'une période de trois ans à compter de la parution finale de l'étude.

Pour parvenir à la réalisation des cartes de débits potentiels, ont été utilisés les éléments théoriques explicités au chapitre 4.1 précédant, notamment, la formule d'approximation de Dupuit qui lie la transmissivité au débit spécifique dans le cas d'une nappe captive.

Rappelons que cette équation s'écrit :

$$T = (Q/s) / [2,73 \times \log_{10} (R/r)] \quad (1)$$

dans laquelle :

T est la transmissivité de l'aquifère exprimée en m²/s ;

Q/s est le débit spécifique exprimé en m³/s/m de rabattement ;

R est le rayon d'action du forage exprimé en m, c'est-à-dire le rayon sur lequel l'influence du rabattement est visible sur le cône de rabattement ;

r est le rayon du forage exprimé en mm.

S'agissant de rechercher un débit en fonction de la transmissivité, l'équation (1) peut être transformée en :

$$Q/s = 2,73 T \log_{10} (R/r) \quad (2) : !$$

La première approximation opérée pour parvenir à l'élaboration des cartes est de considérer que :

- le rayon d'action du forage est arbitrairement constant d'une valeur de 300 m ;
- le rayon des forages est supposé constant à 100 mm¹.

En conséquence, l'équation (2) ci-dessus s'écrit :

$$Q/s = 1.30 T \quad (3)$$

La seconde approximation opérée consiste à déterminer une valeur spécifique moyenne pour chacune des trois classes sélectionnées pour la construction des cartes de transmissivité des quatre aquifères multicouche de l'étude.

¹ Dans la pratique, il apparaît que ces deux paramètres ne sont pas constants ; ceci explique que les débits calculés par cette méthode sont difficilement comparables à des débits mesurés lors d'un essai de pompage.

Ainsi, pour chaque classe de transmissivité, les valeurs moyennes suivantes ont été sélectionnées :

- $T < 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, alors la valeur moyenne retenue est : $0,00033 \text{ m}^2/\text{s}$;
- $10^{-3} < T < 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, alors la valeur moyenne retenue est : $0,0033 \text{ m}^2/\text{s}$;
- $T > 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, alors la valeur moyenne retenue est : $0,033 \text{ m}^2/\text{s}$.

Enfin, la **troisième approximation** opérée est la plus délicate pour parvenir au débit potentiel (exprimé en m^3/h) à partir du débit spécifique (exprimé en $\text{m}^3/\text{h.m}$). En effet, une corrélation effectuée entre les débits obtenus en prenant en compte l'épaisseur complète de l'aquifère multicouche considéré (voir cartes thématiques correspondantes) avec les débits mesurés ponctuellement dans un certain nombre d'ouvrages inscrits dans la Banque de données du sous-sol, démontre que les débits potentiels les plus représentatifs doivent être obtenus par application de l'équation suivante :

$$Q_{\text{pot}} = (Q/s) \times \text{épaisseur de la nappe} / 12 \quad (4)$$

Le coefficient correcteur de valeur 12 retenu par les hydrogéologues de l'équipe de projet est totalement empirique.

C'est celui qui, par approximations successives, semble permettre le meilleur rapprochement entre les valeurs de transmissivité par aquifère et les débits ponctuels relevés sur certains ouvrages. Il importe, en effet, de rappeler que ces valeurs ponctuelles ne sont pas forcément représentatives des capacités productives de l'aquifère puisque les caractéristiques de l'ouvrage et des essais de puits réalisés entrent grandement en ligne de compte.

Ceci explique que les cartes montrent un certain nombre d'incohérences entre les plages calculées pour chaque classe de débit potentiel et les valeurs des débits ponctuels issus d'essais de pompage.

L'utilisateur de ces cartes de débit dans les calculs thermiques nécessaires à l'élaboration d'un projet, doit garder à l'esprit qu'il ne s'agit que de valeurs indicatives s'appuyant sur les hypothèses simplificatrices ci-dessus.

Ces valeurs doivent permettre de préciser les éléments d'un cahier des charges mais doivent être vérifiées, au coup par coup, par une étude hydrogéologique de détail, réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité du projet.

Compte tenu des incertitudes sur la méthode et sur les données, les 4 cartes qui suivent ont été élaborées à l'échelle 1/500.000.

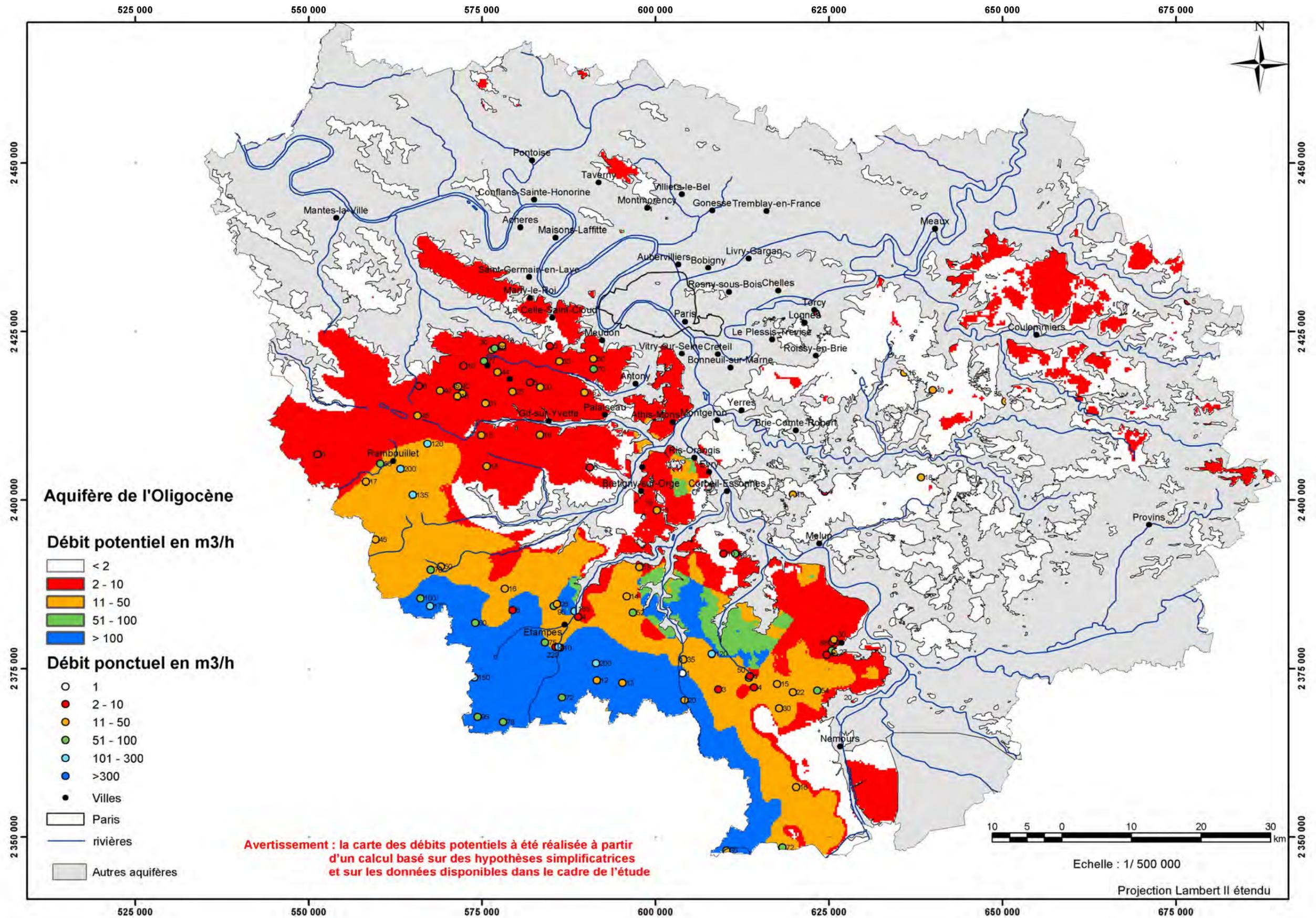
Nous sommes conscients, dans le résultat final, du grand nombre d'incohérences qui subsiste sur les cartes de débits potentiels entre les plages calculées pour chaque classe de débit et les valeurs des débits ponctuels matérialisées.

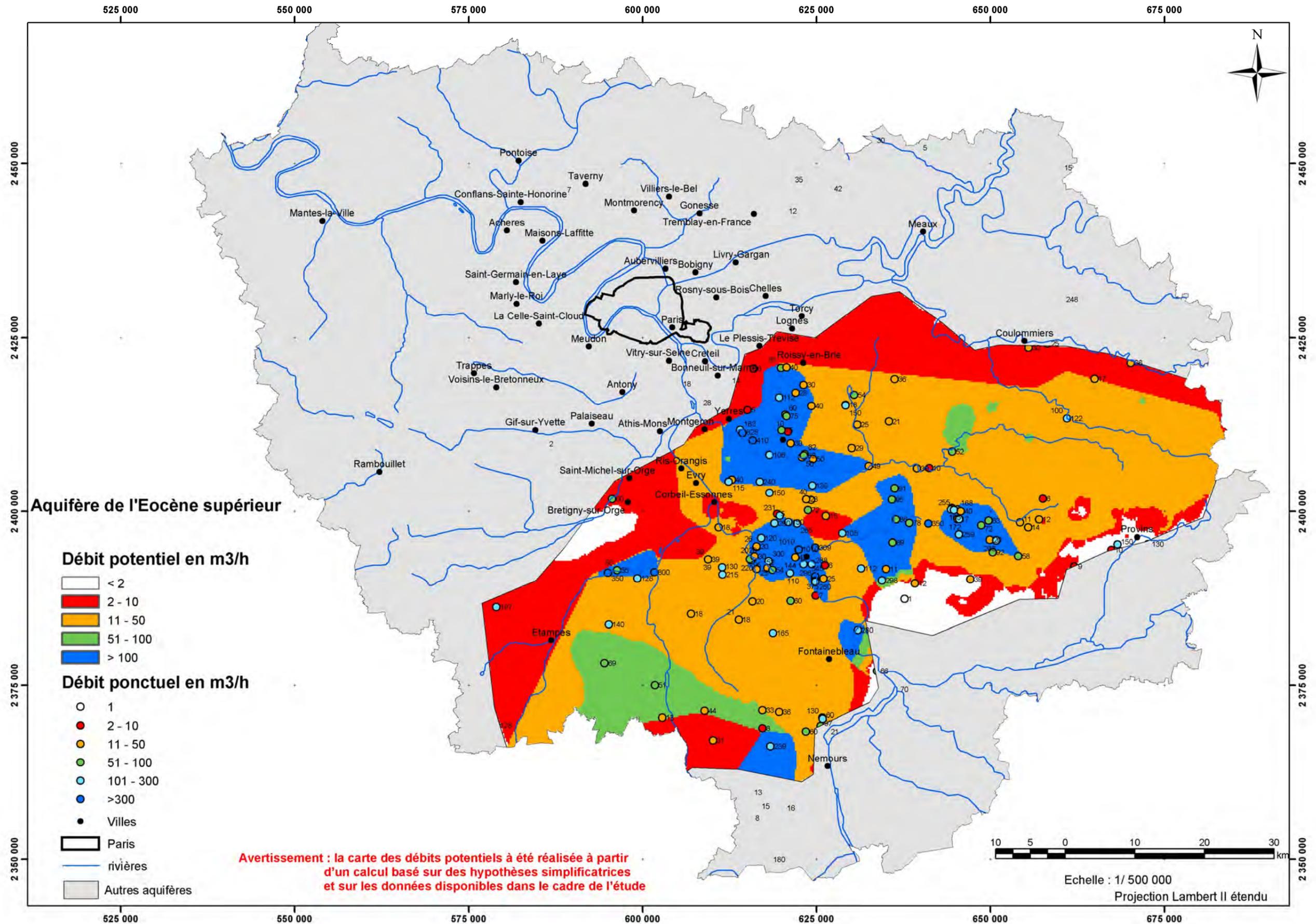
En conséquence de cette analyse et de ces réserves, les cartes suivantes de débit potentiel ont pu être élaborées pour les quatre aquifères multicouche considérés.

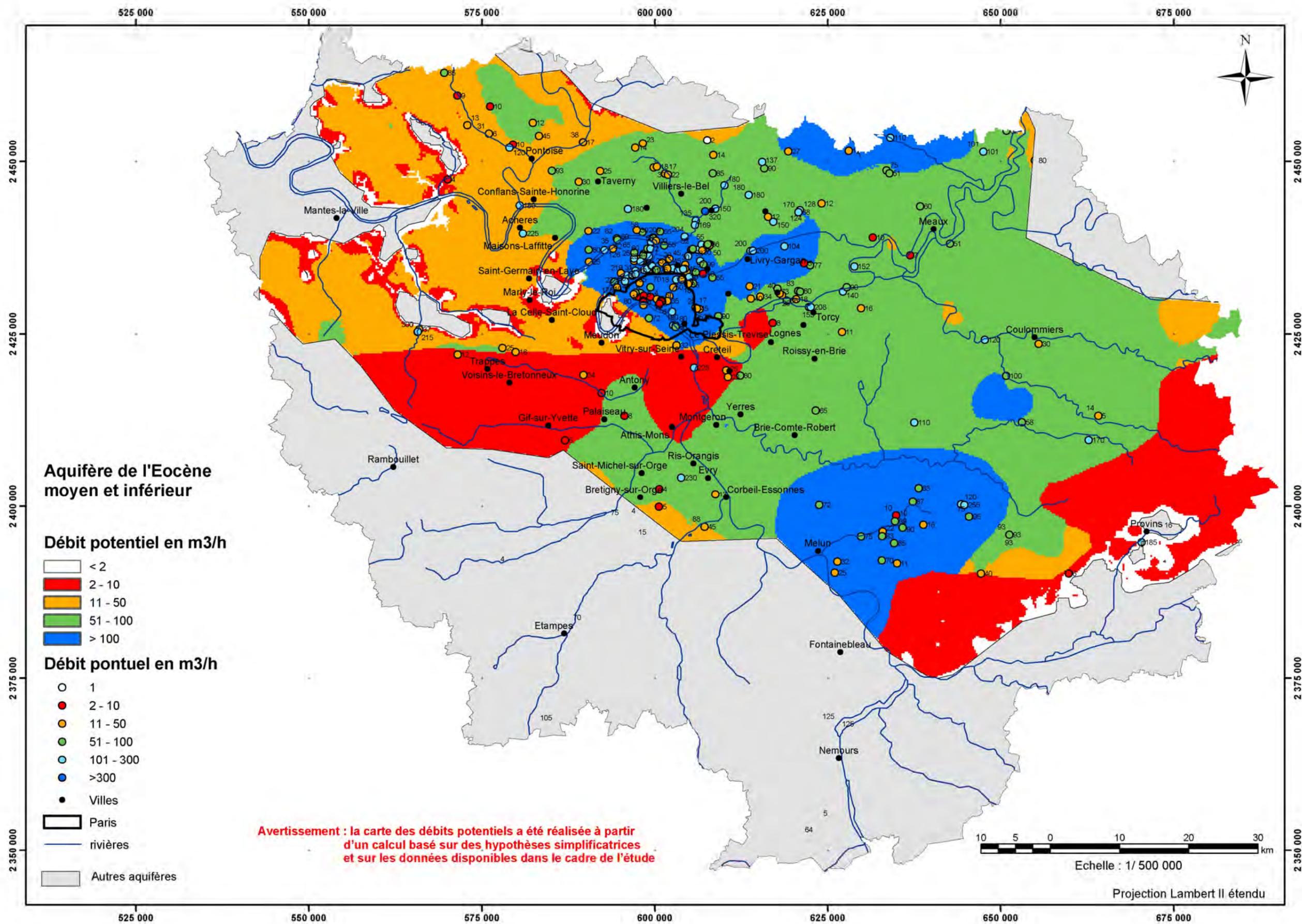
Nous insistons, à nouveau et pour finir, sur le fait qu'il importe de **garder très fortement présent à l'esprit** pour l'utilisation de ces cartes de débit dans les calculs thermiques nécessaires à l'élaboration d'un projet, **qu'il ne s'agit que de valeurs indicatives s'appuyant sur les hypothèses simplificatrices ci-dessus.**

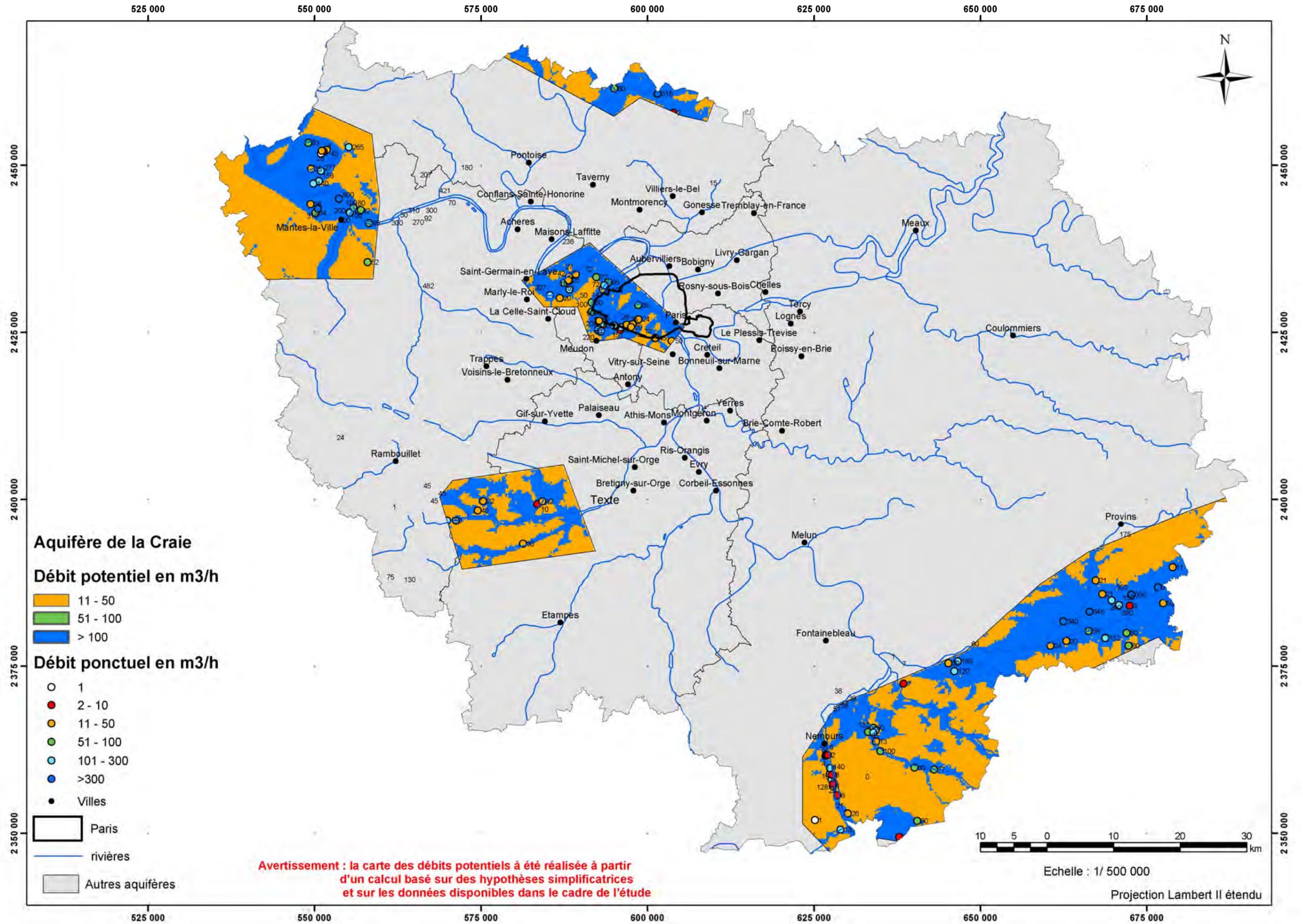
Ces valeurs doivent permettre de préciser les éléments d'un cahier des charges mais doivent être vérifiées, au coup par coup, par une étude hydrogéologique de détail, réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité du projet.

Compte tenu des incertitudes sur les données ainsi matérialisées, les quatre cartes qui suivent ont été élaborées à l'échelle 1/500 000.







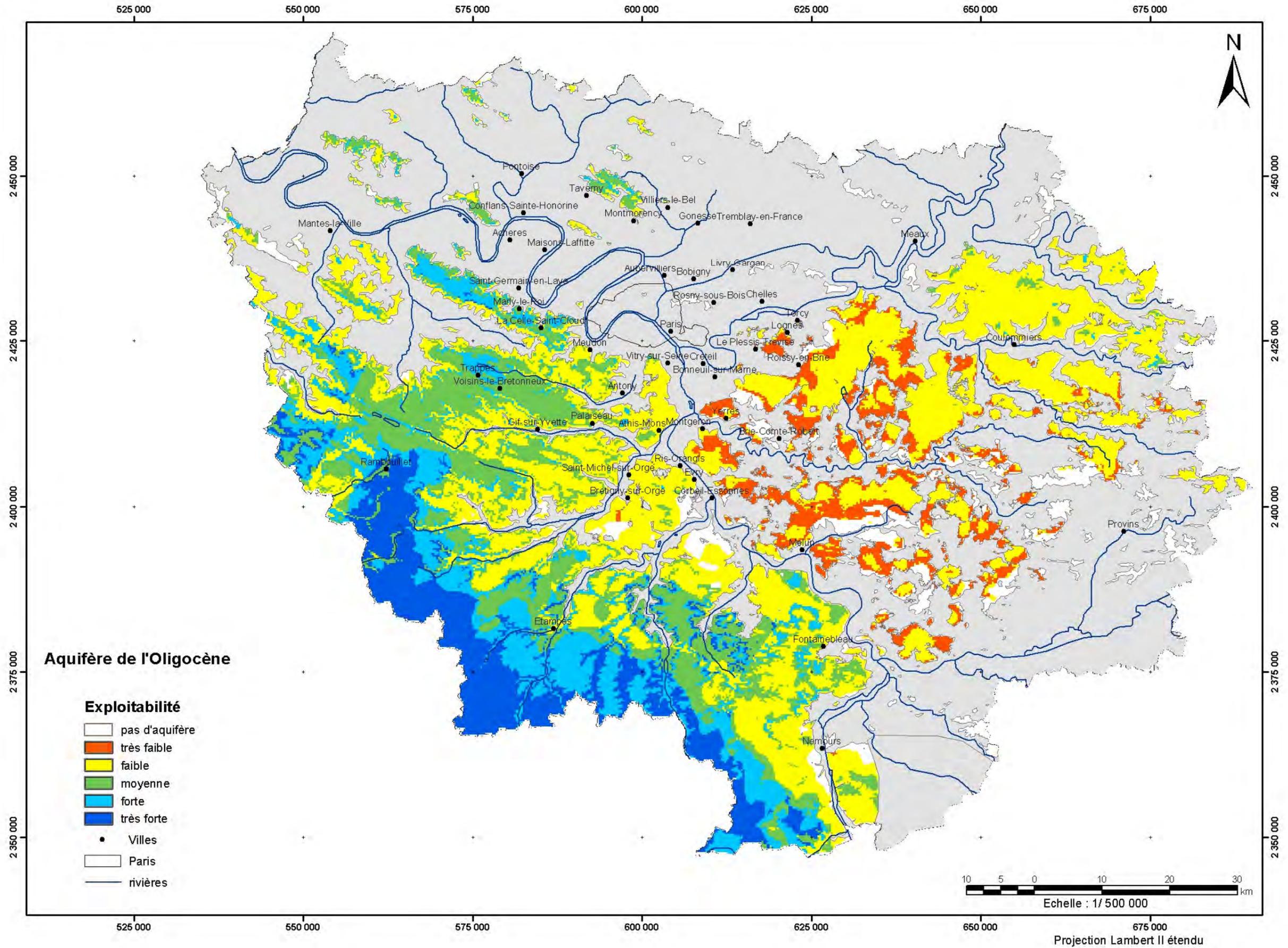


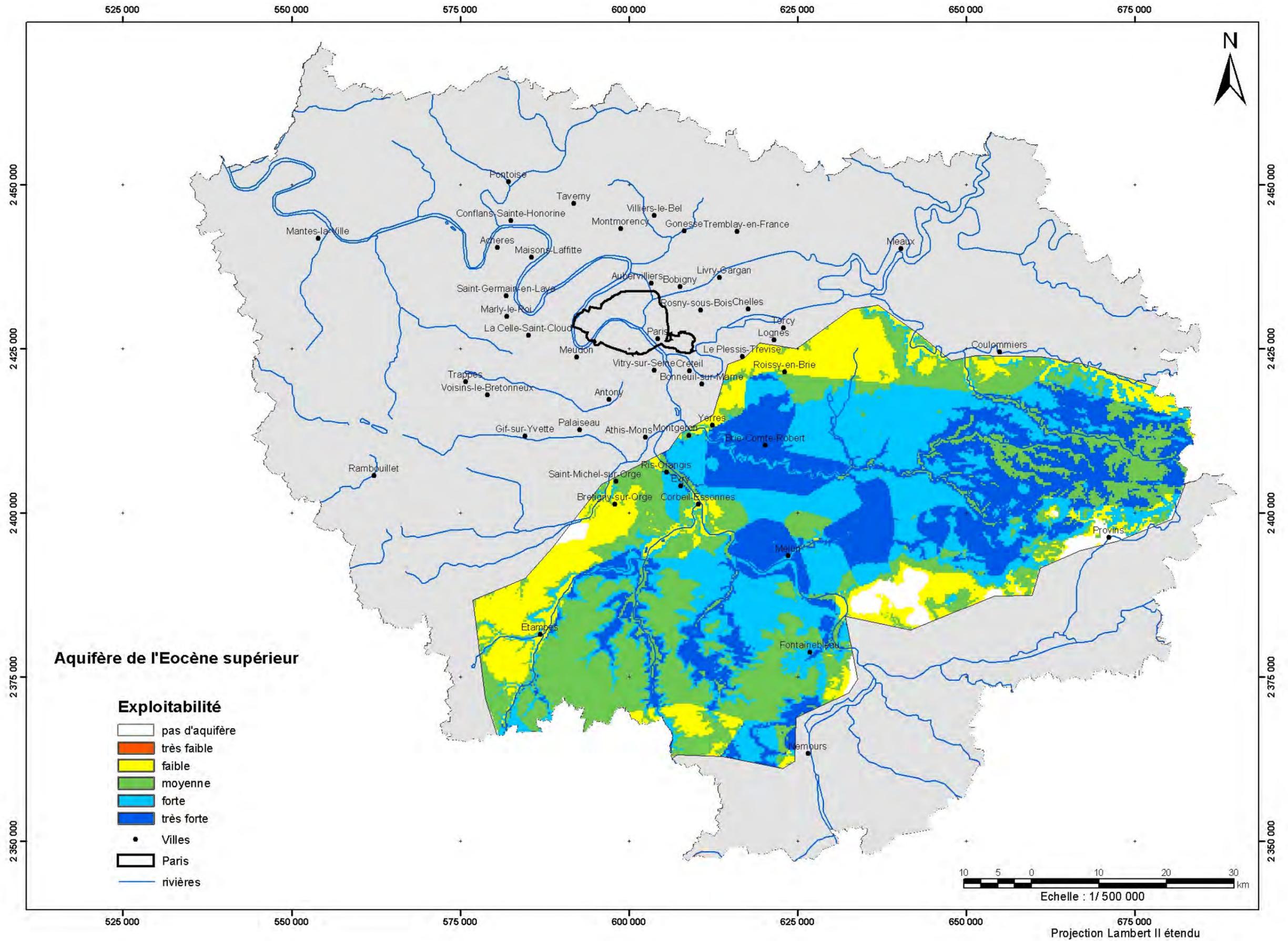
5. Cartes d'exploitabilité des quatre aquifères multicouches

Les quatre cartes qui suivent présentent le résultat final de l'étude du point de vue de l'exploitabilité conformément à la méthode d'élaboration proposée au chapitre 2 et au paragraphe 4.1 ci-avant.

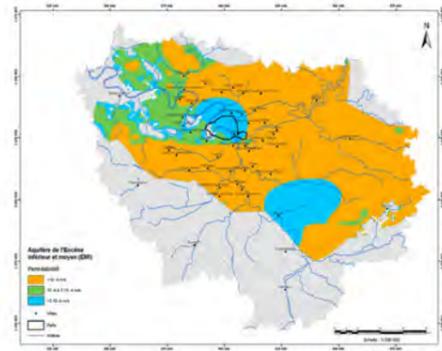
Deux types de présentation de ces cartes sont proposés, sur lesquels il conviendra de trancher pour la présentation finale des documents.

La carte d'exploitabilité de l'aquifère de l'Éocène Moyen et Inférieur présente, en médaillon, les cartes qui ont servi à sa réalisation (croisement multicritère).

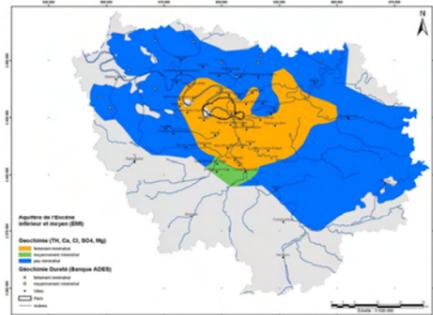




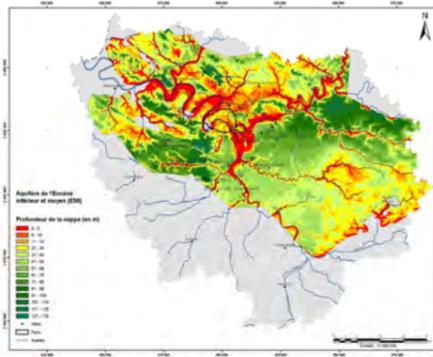
Atlas hydrogéologique pour l'exploitabilité des aquifères en vue de l'installation de forages pour pompe à chaleur : Aquifère de l'Éocène moyen et inférieur (EMI)



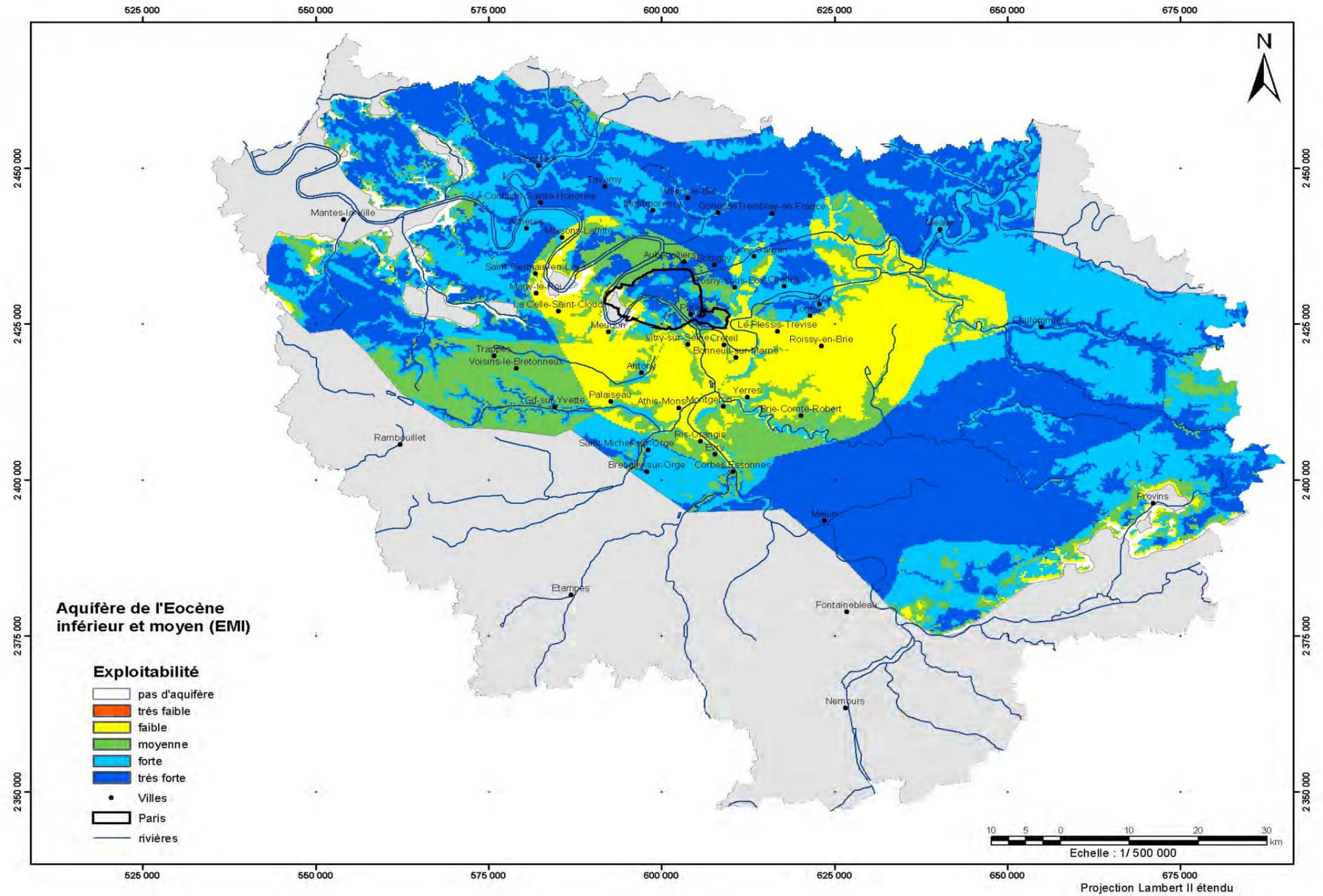
Transmissivité



Hydrochimie



Profondeur de la nappe



ADEME



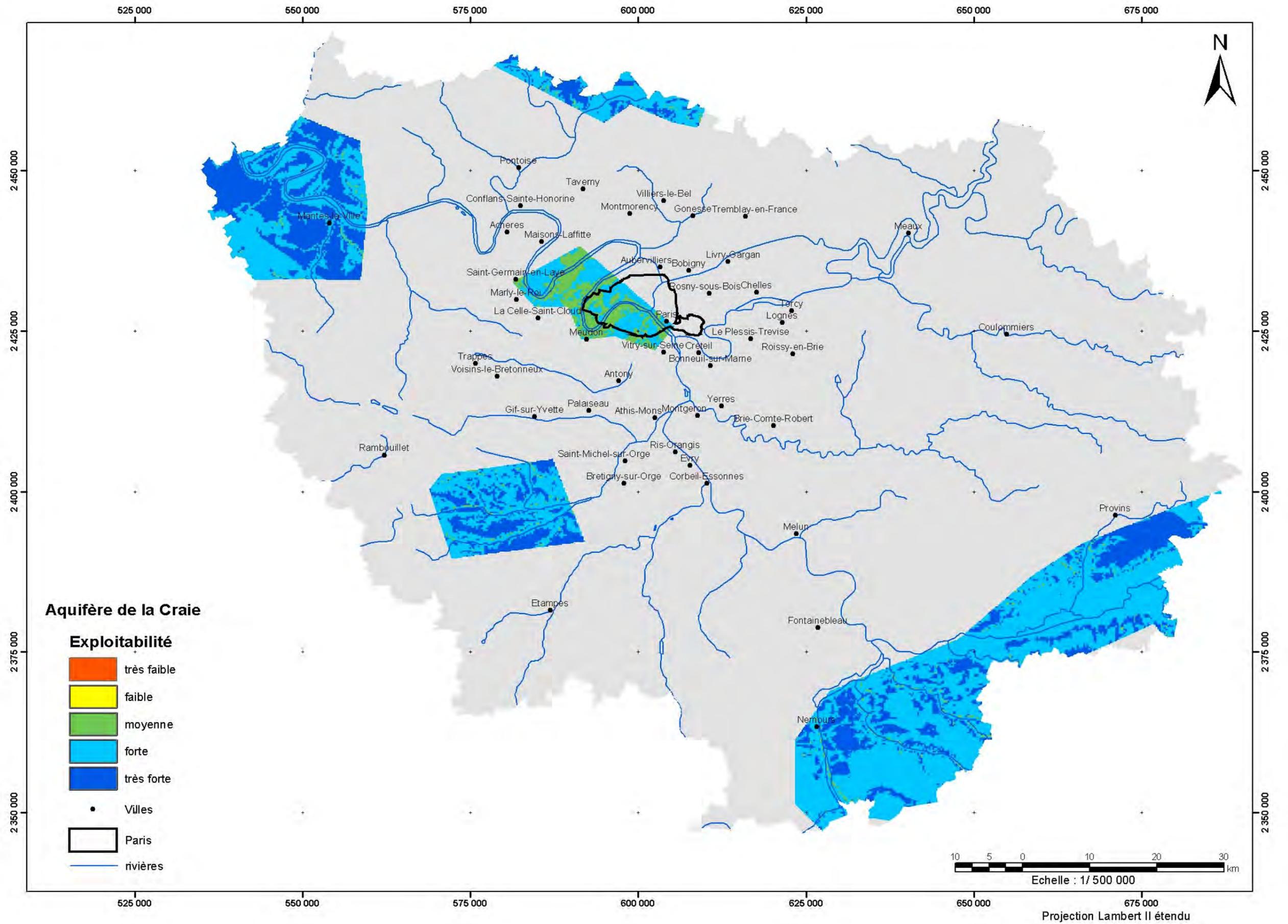
Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

ARENE



Agence régionale
de l'environnement
et des
nouvelles énergies
Ile-de-France





6. Conclusion

L'analyse des différentes formations de la région Ile-de-France pouvant contenir des aquifères, a conduit à retenir quatre aquifères multicouches représentés géographiquement sur la carte de la zone d'étude.

Ces aquifères sont dits multicouches, car la géologie du bassin de Paris fait que certains aquifères ne s'étendent pas sur l'ensemble de la formation qui les contient, et que, par ailleurs, l'amincissement ou la disparition locale des formations étanches séparant des aquifères peuvent conduire à la mise en communication de ceux-ci. L'étude a donc conduit à traiter de façon continue chaque nappe retenue, même si celle-ci est contenue latéralement sur le bassin dans divers niveaux géologiques successifs.

Les quatre aquifères multicouches sont du moins profond au plus profond :

- l'aquifère multicouche de l'OLIGOCÈNE (-23 à -35 Ma) composé des Calcaires de Beauce, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie ;
- l'aquifère multicouche de l'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR (-35 à -42 Ma) composé du Calcaire de Champigny, des Sables de Montceau, des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp ;
- l'aquifère multicouche de l'ÉOCÈNE MOYEN et INFÉRIEUR (-42 à -60 Ma) composé du Calcaire Grossier du Lutétien inférieur, des Sables de Cuise et des Sables du Soissonnais ;
- l'aquifère de la CRAIE d'âge Sénonien du Crétacé Supérieur (-74 à -83 Ma), formation très épaisse exploitable uniquement dans les parties affleurantes.

Les alluvions d'âge quaternaire n'ont pas été retenues, compte tenu de leur caractère extrêmement vulnérable tant aux aléas climatiques qu'à l'activité humaine.

Pour chacun des aquifères étudiés, la collecte et le traitement des données existantes ont conduit à l'établissement des cartes suivantes :

- cartes du toit et du mur de la formation (cartes d'isoprofondeurs) ;
- carte de profondeur de la nappe ;
- carte d'épaisseur de la nappe ;
- carte de l'hydrochimie de la nappe ;
- carte de transmissivité ;
- carte des débits potentiels par aquifère.

Le croisement de ces données avec l'analyse, pour chaque aquifère, des cinq critères retenus pour l'étude (la profondeur de la nappe, l'épaisseur de la nappe, l'hydrochimie

de la nappe, la transmissivité de l'aquifère, la température) à conduit à la réalisation des cartes d'exploitabilité pour chacun des aquifères retenus.

Au stade de l'examen préalable d'un projet thermique avec pompe à chaleur sur nappe phréatique, ces cartes d'exploitabilité permettront d'évaluer la puissance thermique délivrable sur le site considéré. Ce sont donc bien des cartes d'orientation par rapport à la ressource.

La présente étude, complétée du volet relatif aux techniques de production énergétique pour les filières retenues (hypermarchés, bureaux, hôpitaux et cliniques), aux éléments administratifs et économiques, a conduit à la finalisation du guide, dont la présentation prend la forme :

- d'un rapport général, en deux parties, qui synthétise le déroulement de l'étude et les résultats obtenus ;
- d'une série de huit cartes par grand aquifère multicouches, à l'échelle 1/250 000, sauf pour les critères de transmissivité, d'hydrochimie de débit potentiel et d'exploitabilité (échelle 1/500 000) en raison d'incertitudes sur les valeurs ;
- d'un CD-ROM, sur lequel sera installé le SIG réalisé à partir des cartes d'exploitabilité, présentant par pixel de 250 m de coté, un menu déroulant précisant, au point considéré, le meilleur aquifère disponible et ses caractéristiques techniques destinées à orienter l'étude de faisabilité du futur projet.

Bibliographie

Amraoui N., Golaz C., Mardhel V. (2002) - Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme. Rap. BRGM/RP-51827-FR, 184 p., 84 fig.

Ausseau J.Y., Campinchi J., Sauty J.P. (1973) - Évaluation du potentiel thermique des nappes aquifères peu profondes (0 à 100 mètres) en Ile-de-France. Aspect hydrothermique et économique au niveau de la faisabilité. Rap. BRGM/RR-00445-FR.

Berger G., Rampon G. (1974) - Relations entre nappe des calcaires de Champigny et celle de l'Yprésien. Rap. BRGM 74 BDP 005.

Maget P. (1995) - Piézométrie du système aquifère de Beauce. Basses Eaux 1994. Rap. BRGM/RR-38572-FR, 33 p., 8 fig., 2 cartes.

Martin J.C., Giot D., Le Nindre Y.M. (1999) - Études préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce. Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce. Rap. BRGM/RR-40571-FR, 123 p., 98 fig., 50 cartes.

Mégny C. (1979) - Hydrogéologie du centre du bassin de Paris : contribution à l'étude de quelques aquifères principaux. Éditions du BRGM : Paris, 532 p.

Mégny C., Diffre Ph., Rampon G. (1970) - Atlas des nappes aquifères de la région parisienne. BRGM : Paris.

Mégny C., Duermael G., Berger G. (1976) - Alimentation en eau potable des villes nouvelles du sud-est de la région parisienne. Débits exploitables dans la nappe des calcaires de Champigny-en-Brie. rapport de fin d'étude. Rap. BRGM/RR-22255-FR, 87 p., 32 fig.

Mégny C., Turland M. (1963) - État de la documentation sur les ouvrages souterrains implantés sur la feuille topographique Montereau et synthèse hydrogéologique provisoire. Rap. BRGM/DSGR.63.A40, 53 p.

Mercier R. (1981) - Inventaire des ressources aquifères et vulnérabilité des nappes du département des Yvelines – Rap. BRGM/RR-20180-FR, 555 fig., 9 cartes.

Rampon G. (1963) - État de la documentation sur les ouvrages souterrains implantés sur les feuilles topographiques : Fontainebleau – Château Landon et synthèse hydrogéologique provisoire. Rap. BRGM/DSGR.63.A30, 48 p.

Roussel P., Richard M. (1976) - Alimentation en eau des communes rurales du Vexin (Val d'Oise). Rap. BRGM/RR-22136-FR, 46 p., 120 fig., 6 cartes.

Vernoux J.F. (2003) - Aquifère des calcaires de Champigny. Synthèse des connaissances relatives aux écoulements de la nappe et aux relations nappe-rivière. Rap. BRGM/RP-52366-FR, 66 p., 18 fig., 15 tabl., 3 pl., 8 ann.

Annexe 1

Guide d'utilisation des cartes (planches) thématiques pour chacun des quatre aquifères multicouche de l'étude

Cette fiche guide est destinée à faciliter l'utilisation et la lecture des planches qui suivent, numérotées de 1 à 31, dans l'ordre d'apparition dans le rapport d'étude.

| Intitulé de la carte | Numéro de la carte / Echelle | Commentaires | A quoi sert cette carte ? | | | | Indique la page ou le chapitre du document sur lesquels il est possible de trouver des informations complémentaires |
|--|--------------------------------|--|--------------------------------------|------------|----------------------------------|--|---|
| | | | Débit | Profondeur | Choix équipements et maintenance | Précisions | |
| Cartes d'exploitabilité | | | A utiliser au début du projet | | | | |
| Aquifère de l' Oligocène Exploitabilité | Planche 28 1/250.000 | Permet de déterminer l'intérêt de l'aquifère en un lieu donné, en croisant ses caractéristiques en termes de profondeur et d'épaisseur de la nappe, de transmissivité et d'hydrochimie | X | X | X | C'est la carte qu'il faut utiliser en premier. Si cet aquifère ne présente pas d'intérêt pour un projet donné, il faut rechercher un autre aquifère avant de conclure sur l'utilité de la géothermie pour le projet. <u>Nota</u> : les zones en blanc indiquent que la formation géologique contenant l'aquifère est présente mais qu'elle ne renferme pas d'eau - les zones grisées indiquent que la formation aquifère est absente | Première partie - chapitres 2 et 5 |
| Aquifère de l' Eocène supérieur Exploitabilité | Planche 29 1/250.000 | Permet de déterminer l'intérêt de l'aquifère en un lieu donné, en croisant ses caractéristiques en termes de profondeur et d'épaisseur de la nappe, de transmissivité et d'hydrochimie | X | X | X | C'est la carte qu'il faut utiliser en premier. Si cet aquifère ne présente pas d'intérêt pour un projet donné, il faut rechercher un autre aquifère avant de conclure sur l'utilité de la géothermie pour le projet. <u>Nota</u> : les zones en blanc indiquent que la formation géologique contenant l'aquifère est présente mais qu'elle ne renferme pas d'eau - les zones grisées indiquent que la formation aquifère est absente | Première partie - chapitres 2 et 5 |
| Aquifère de l' Eocène moyen et inférieur - Exploitabilité | Planche 30 1/250.000 | Permet de déterminer l'intérêt de l'aquifère en un lieu donné, en croisant ses caractéristiques en termes de profondeur et d'épaisseur de la nappe, de transmissivité et d'hydrochimie | X | X | X | C'est la carte qu'il faut utiliser en premier. Si cet aquifère ne présente pas d'intérêt pour un projet donné, il faut rechercher un autre aquifère avant de conclure sur l'utilité de la géothermie pour le projet. <u>Nota</u> : les zones en blanc indiquent que la formation géologique contenant l'aquifère est présente mais qu'elle ne renferme pas d'eau - les zones grisées indiquent que la formation aquifère est absente | Première partie - chapitres 2 et 5 |
| Aquifère de la Craie - Exploitabilité | Planche 31 1/250.000 | Permet de déterminer l'intérêt de l'aquifère en un lieu donné, en croisant ses caractéristiques en termes de profondeur et d'épaisseur de la nappe, de transmissivité et d'hydrochimie | X | X | X | C'est la carte qu'il faut utiliser en premier. Si cet aquifère ne présente pas d'intérêt pour un projet donné, il faut rechercher un autre aquifère avant de conclure sur l'utilité de la géothermie pour le projet. <u>Nota</u> : les zones en blanc indiquent que la formation géologique contenant l'aquifère est présente mais qu'elle ne renferme pas d'eau - les zones grisées indiquent que la formation aquifère est absente | Première partie - chapitres 2 et 5 |

| Intitulé de la carte | Numéro de la carte / Echelle | Commentaires | A quoi sert cette carte ? | | | | Indique la page ou le chapitre du document sur lesquels il est possible de trouver des informations complémentaires |
|--|--------------------------------|--|---------------------------|------------|----------------------------------|---|---|
| | | | Débit | Profondeur | Choix équipements et maintenance | Précisions | |
| Aquifère multicouche de l'Oligocène | | | | | | | |
| Aquifère de l'Oligocène - isoprofondeurs du toit des sables de Fontainebleau | Planche 1 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation des sables de Fontainebleau utilisée ici comme toit de l'aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître le début de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.1.1 et 3.1.2 |
| Aquifère de l'Oligocène - isoprofondeurs du toit des marnes vertes | Planche 2 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation des marnes vertes utilisée ici comme mur de l'aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître la fin de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.1.1 et 3.1.2 |
| Aquifère de l'Oligocène - profondeur de la nappe | Planche 3 1/250.000 | Indique la profondeur de la nappe par rapport au sol | | x | | Permet de déterminer à quelle profondeur le forage rencontrera l'eau | Première partie - chapitre 3.1.3 |
| Aquifère de l'Oligocène - épaisseur de la nappe | Planche 4 1/250.000 | Indique l'épaisseur de la nappe (ou épaisseur mouillée) par différence entre les planches 3 et 2 | x | | | Permet de déterminer la position des crépines dans le forage. La meilleure productivité est obtenue pour un forage exploitant la totalité de l'épaisseur mouillée | Première partie - chapitre 3.1.4 |
| Aquifère de l'Oligocène géochimie/hydrochimie | Planche 5 1/500.000 | Permet de déterminer la qualité de l'eau du point de vue de la corrosion et des dépôts dans les installations | | | x | Permet de déterminer les précautions à prendre pour l'exploitation de la nappe (matériaux, filtres, traitement, maintenabilité de l'échangeur) | Première partie - chapitre 3.1.5 |
| Aquifère de l'Oligocène - Transmissivité | Planche 20 1/500.000 | Permet de déterminer la production intrinsèque d'un aquifère dont on connaît la perméabilité et l'épaisseur | x | | | Plus la transmissivité est élevée, meilleur est l'aquifère. La transmissivité est utilisée par l'hydrogéologue pour déterminer un débit spécifique | Première partie - chapitres 4.1 et 4.2 |
| Aquifère de l'Oligocène - débits potentiels | Planche 24 1/500.000 | Permet d'approcher les débits susceptibles d'être produits par l'aquifère | x | | | Après avoir vérifié le niveau d'exploitabilité de l'aquifère, cette carte permet d'élaborer le cahier des charges du bureau d'études chargé de la faisabilité du projet | Première partie - chapitre 4.6 |

| Intitulé de la carte | Numéro de la carte / Echelle | Commentaires | A quoi sert cette carte ? | | | | Indique la page ou le chapitre du document sur lesquels il est possible de trouver des informations complémentaires |
|--|--------------------------------|--|---------------------------|------------|----------------------------------|--|---|
| | | | Débit | Profondeur | Choix équipements et maintenance | Précisions | |
| Aquifère multicouche de l'Eocène supérieur | | | | | | | |
| Aquifère de l'Eocène supérieur isoprofondeurs du mur des marnes vertes | Planche 6 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation des marnes vertes utilisée ici comme toit de l'aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître le début de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.2.1 et 3.2.2 |
| mur de l'aquifère de l'Eocène supérieur et toit de l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur isoprofondeurs du toit du Lutétien | Planche 7 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation du Lutétien, utilisée ici à la fois comme mur de l'Eocène supérieur et toit de l'Eocène moyen et inférieur | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître la fin de la formation de l'Eocène supérieur et le début de la formation de l'Eocène moyen et inférieur | Première partie - chapitres 3.2.1 et 3.2.2 puis 3.3.1 et 3.3.2 |
| Aquifère de l'Eocène supérieur profondeur de la nappe | Planche 8 1/250.000 | Indique la profondeur de la nappe par rapport au sol | | x | | Permet de déterminer à quelle profondeur le forage rencontrera l'eau | Première partie - chapitre 3.2.3 |
| Aquifère de l'Eocène supérieur épaisseur de la nappe | Planche 9 1/250.000 | Indique l'épaisseur de la nappe (ou épaisseur mouillée) par différence entre les planches 8 et 7 | x | | | Permet de déterminer la position des crépines dans le forage. La meilleure productivité est obtenue pour un forage exploitant la totalité de l'épaisseur mouillée | Première partie - chapitre 3.2.4 |
| Aquifère de l'Eocène supérieur géochimie/hydrochimie | Planche 10 1/500.000 | Permet de déterminer la qualité de l'eau du point de vue de la corrosion et des dépôts dans les installations | | | x | Permet de déterminer les précautions à prendre pour l'exploitation de la nappe (matériaux, filtres, traitement, maintenabilité de l'échangeur) | Première partie - chapitre 3.2.5 |
| Aquifère de l'Eocène supérieur Transmissivité | Planche 21 1/500.000 | Permet de déterminer la production intrinsèque d'un aquifère dont on connaît la perméabilité et l'épaisseur | x | | | Plus la transmissivité est élevée, meilleur est l'aquifère. La transmissivité est utilisée par l'hydrogéologue pour déterminer un débit spécifique | Première partie - chapitres 4.1 et 4.3 |
| Aquifère de l'Eocène supérieur - débits potentiels | Planche 25 1/500.000 | Permet d'approcher les débits susceptibles d'être produits par l'aquifère | x | | | Après avoir vérifié le niveau d'exploitabilité de l'aquifère, cette carte permet d'élaborer le cahier des charges du bureau d'études chargé de la faisabilité du projet | Première partie - chapitre 4.6 |

| Intitulé de la carte | Numéro de la carte / Echelle | Commentaires | A quoi sert cette carte ? | | | | Indique la page ou le chapitre du document sur lesquels il est possible de trouver des informations complémentaires |
|--|---|--|---------------------------|------------|----------------------------------|--|---|
| | | | Débit | Profondeur | Choix équipements et maintenance | Précisions | |
| Aquifère multicouche de l'Eocène moyen et inférieur | | | | | | | |
| mur de l'aquifère de l'Eocène supérieur et toit de l'aquifère de l'Eocène moyen et inférieur - isoprofondeurs du toit du Lutétien | Planche 7 pour mémoire 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation du Lutétien, utilisée ici à la fois comme mur de l'Eocène supérieur et toit de l'Eocène moyen et inférieur | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître la fin de la formation de l'Eocène supérieur et le début de la formation de l'Eocène moyen et inférieur | Première partie - chapitres 3.3.1 et 3.3.2 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur isoprofondeurs du mur du Sparnacien | Planche 11 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol de la formation du Sparnacien utilisée ici comme mur de l'aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître la fin de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.3.1 et 3.3.2 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur profondeur de la nappe | Planche 12 1/250.000 | Indique la profondeur de la nappe par rapport au sol | | x | | Permet de déterminer à quelle profondeur le forage rencontrera l'eau | Première partie - chapitre 3.3.3 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur épaisseur de la nappe | Planche 13 1/250.000 | Indique l'épaisseur de la nappe (ou épaisseur mouillée) par différence entre les planches 13 et 12 | x | | | Permet de déterminer la position des crépines dans le forage. La meilleure productivité est obtenue pour un forage exploitant la totalité de l'épaisseur mouillée | Première partie - chapitre 3.3.4 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur géochimie/hydrochimie | Planche 14 1/500.000 | Permet de déterminer la qualité de l'eau du point de vue de la corrosion et des dépôts dans les installations | | | x | Permet de déterminer les précautions à prendre pour l'exploitation de la nappe (matériaux, filtres, traitement, maintenabilité de l'échangeur) | Première partie - chapitre 3.3.5 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur Transmissivité | Planche 22 1/500.000 | Permet de déterminer la production intrinsèque d'un aquifère dont on connaît la perméabilité et l'épaisseur | x | | | Plus la transmissivité est élevée, meilleur est l'aquifère. La transmissivité est utilisée par l'hydrogéologue pour déterminer un débit spécifique | Première partie - chapitres 4.1 et 4.4 |
| Aquifère de l'Eocène moyen et inférieur débits potentiels | Planche 26 1/500.000 | Permet d'approcher les débits susceptibles d'être produits par l'aquifère | x | | | Après avoir vérifié le niveau d'exploitabilité de l'aquifère, cette carte permet d'élaborer le cahier des charges du bureau d'études chargé de la faisabilité du projet | Première partie - chapitre 4.6 |

| Intitulé de la carte | Numéro de la carte / Echelle | Commentaires | A quoi sert cette carte ? | | | | Indique la page ou le chapitre du document sur lesquels il est possible de trouver des informations complémentaires |
|--|--------------------------------|---|---------------------------|------------|----------------------------------|---|---|
| | | | Débit | Profondeur | Choix équipements et maintenance | Précisions | |
| Aquifère multicouche du Crétacé supérieur | | | | | | | |
| Aquifère du Crétacé supérieur isoprofondeurs du toit de la Craie | Planche 15 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol du toit de la formation aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître le début de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.4.1 et 3.4.2 |
| Aquifère du Crétacé supérieur isoprofondeurs du mur de la Craie | Planche 16 1/250.000 | Indique la profondeur par rapport au sol du mur de la formation aquifère | | x | | Cette carte peut être utilisée par un foreur pour connaître la fin de la formation aquifère recherchée et déterminer son programme de forage | Première partie - chapitres 3.4.1 et 3.4.2 |
| Aquifère de la Craie - profondeur de la nappe | Planche 17 1/250.000 | Indique la profondeur de la nappe par rapport au sol | | x | | Permet de déterminer à quelle profondeur le forage rencontrera l'eau | Première partie - chapitre 3.4.3 |
| Aquifère de la Craie - épaisseur de la nappe | Planche 18 1/250.000 | Indique l'épaisseur de la nappe (ou épaisseur mouillée) par différence entre les planches 17 et 16 | x | | | Permet de déterminer la position des crépines dans le forage. La meilleure productivité est obtenue pour un forage exploitant la totalité de l'épaisseur mouillée | Première partie - chapitre 3.4.4 |
| Aquifère de la Craie géochimie/hydrochimie | Planche 19 1/500.000 | Permet de déterminer la qualité de l'eau du point de vue de la corrosion et des dépôts dans les installations | | | x | Permet de déterminer les précautions à prendre pour l'exploitation de la nappe (matériaux, filtres, traitement, maintenabilité de l'échangeur) | Première partie - chapitre 3.4.5 |
| Aquifère de la Craie - Transmissivité | Planche 23 1/500.000 | Permet de déterminer la production intrinsèque d'un aquifère dont on connaît la perméabilité et l'épaisseur | x | | | Plus la transmissivité est élevée, meilleur est l'aquifère. La transmissivité est utilisée par l'hydrogéologue pour déterminer un débit spécifique | Première partie - chapitres 4.1 et 4.5 |
| Aquifère de la Craie - débits potentiels | Planche 27 1/500.000 | Permet d'approcher les débits susceptibles d'être produits par l'aquifère | x | | | Après avoir vérifié le niveau d'exploitabilité de l'aquifère, cette carte permet d'élaborer le cahier des charges du bureau d'études chargé de la faisabilité du projet | Première partie - chapitre 4.6 |



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Ile-de-France
7, rue du Théâtre
91884 – Massy - France
Tél. : 01 69 75 10 25