

Document public

Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure
Volet Cartographie de l'aquifère de la craie

BRGM/RP-52989-FR

février 2004



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE



Document public

Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure

Volet Cartographie de l'aquifère de la craie

BRGM/RP-52989-FR

février 2004

**Etude réalisée dans le cadre des opérations
de Service Public du BRGM 02EAU310**

**G. Arbonnier, E. Equilbey, F. Hanot,
V. Mardhel, T. Pointet, F. Quesnel,
C. Robelin, S. Schomburgk, B. Tourlière,**



Mots clés : Cartographie, SIG, craie, mur de la craie, toit de la craie, Albien, Crétacé, Cénomanién, Turonien, Sénonien, Argiles à Silex, aquifère de la craie, piézométrie moyenne, piézométrie hautes eaux, piézométrie basses eaux, craie sèche, craie mouillée, zone non saturée, zone Humide, Vallée Seine, Vallée Risle, Vallée Charentonne, Vallée Avre, Vallée Eure, Vallée Epte, Vallée Gambon, Vallée Andelle, Vallée Oison, Eure, Haute-Normandie.

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

Arbonnier G., Equilbey E., Hanot F., Mardhel V., Pointet T., Quesnel F., Robelin C., Schomburgk S., Tourlière B. (2004) - Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure. Volet cartographie de l'aquifère de la craie. Rap. BRGM/RP-52989-FR, 90 p., 38 fig., 2 tabl., 1 ann.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

En partenariat financier avec le Conseil Général de l'Eure et l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a été chargé de compléter et actualiser la dernière version papier de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure réalisé en 1991.

A l'image des départements crayeux voisins déjà traités (Eure-et-Loir et Seine-Maritime), cette version numérique de l'atlas hydrogéologique de l'Eure consiste dans un premier volet en l'élaboration des couches SIG de l'aquifère de la craie (couches géologiques et hydrogéologiques), objet du présent rapport et un volet bilan hydrique quantitatif de la craie, objet du présent rapport BRGM associé RP-52988-FR.

Le travail de définition des couches géométriques SIG de l'aquifère crayeux à l'échelle 1/1000 000 s'est basé sur les données issues de la BSS (données déjà numériques ou numérisées), complétées des données des Atlas hydrogéologiques voisins déjà traités, des données de la CGG et des forages ponctuels récupérés auprès de la DDE de la DDAF et du Conseil Général de l'Eure. Il existe désormais un jeu de couches harmonisées sur les départements de l'Eure, l'Eure-et-Loir et la Seine Maritime, ces derniers recalés par rapport aux données de l'Eure.

Les couches géologiques ont consisté, par interpolation des données, à définir le mur et le toit de l'aquifère de la craie mais aussi les principales limites stratigraphiques de la craie (toit du Cénomaniens et toit du Turonien). La couverture des formations superficielles ainsi que les formations tertiaires protègent à des degrés variables l'aquifère de la craie et elles ont également fait l'objet de couches SIG.

L'examen des couches géologiques résultantes n'a pas relevé d'éléments nouveaux, inconnus jusqu'alors. Il faut rester conscient de la faible quantité de données exploitables par rapport à la surface couverte et aux inconnus qui demeurent sur la stratigraphie de la craie.

Dans le même temps, il a été réalisé plusieurs couches piézométriques, correspondant à des événements différents (niveaux moyens, très hautes eaux et basses eaux).

La piézométrie numérique des niveaux moyens reste très proche de la piézométrie de l'Atlas hydrogéologique de 1989. Par contre, la piézométrie hautes eaux a bénéficié des mesures de la campagne piézométrique réalisée en juin 2001 dans des conditions exceptionnelles de très hautes eaux de l'aquifère crayeux (rapport BRGM/RP-51153-FR). La piézométrie basses eaux reste tributaire d'un jeu de données insuffisant et mériterait d'être reprise après une campagne de mesures spécifique dès que les circonstances le permettront.

Par croisement des données géologiques et piézométriques moyennes, il a été possible d'évaluer d'autres paramètres caractéristiques de l'aquifère de la craie, comme l'épaisseur de craie saturée (craie "mouillée"), l'épaisseur de craie sèche (craie "sèche") et des zones humides potentielles (contribution de l'aquifère de la craie en position affleurante ou sub-affleurante à la présence des zones humides).

Sommaire

1. INTRODUCTION	11
2. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION.....	13
3. DONNEES	15
3.1. COLLECTE DES DONNEES.....	15
3.2. HARMONISATION AVEC LES DEPARTEMENTS VOISINS.....	16
4. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	19
4.1. LE SUBSTRATUM GEOLOGIQUE SOUS LES FORMATIONS SUPERFICIELLES.	19
4.1.1. <i>Les formations albiennes supportant de la Craie</i>	20
4.1.2. <i>Les assises de la craie</i>	21
4.1.3. <i>Les craies cénomaniennes</i>	22
a) <i>Répartition des faciès</i>	22
b) <i>Variations d'épaisseur</i>	24
4.1.4. <i>Les craies turoniennes</i>	24
a) <i>Répartition des faciès</i>	25
b) <i>Variations d'épaisseur</i>	26
4.1.5. <i>Les craies sénoniennes</i>	27
a) <i>Répartition des faciès</i>	27
b) <i>Variations d'épaisseur</i>	29
4.2. LES TERRAINS TERTIAIRES DE L'EST DU DEPARTEMENT	29
4.2.1. <i>Les terrains aquifères paléocènes</i>	30
4.2.2. <i>L'imperméable "sparnacien"</i>	30
4.2.3. <i>Les terrains aquifères éocènes</i>	30
4.2.4. <i>L'imperméable "stampien" (Oligocène inférieur : faciès</i> <i>Sannoisien)</i>	32
4.2.5. <i>Les Sables de Fontainebleau aquifères (Oligocène inférieur)</i>	33
4.2.6. <i>Les Sables de Lozère</i>	33
4.3. LES FORMATIONS SUPERFICIELLES, D'AGE PLIO-QUATERNAIRE A ACTUEL	34
4.3.1. <i>L'Argile à silex</i>	34
a) <i>Le faciès Thymerais</i>	35

b) Le faciès Drouais.....	35
c) Le faciès Lozère	36
d) Le faciès Gouttière normande - Talou.....	36
e) Le faciès Terrasse de la Seine et de l'Eure.....	36
f) Variations d'épaisseur	37
4.3.2. Les limons des plateaux	38
4.3.3. Les alluvions.....	38
4.4. LE CONTEXTE STRUCTURAL.....	39
4.4.1. Structuration de la Craie.....	39
4.4.2. Structure du mur de la craie	40
a) Généralités.....	40
b) Les structures souples	40
c) Les failles.....	42
d) Le monoclinal central	45
4.4.3. Structures au toit du Cénomanién.....	45
4.4.4. Structure au toit du Turonien.....	46
4.4.5. Structure au mur et au toit du Lutétien.....	47
4.4.6. Topographie du toit de la craie sous les formations supérficielles.....	47
5. ELABORATION DES COUCHES PIEZOMETRIQUES	49
5.1. LA METHODOLOGIE	49
5.2. CALCUL DE LA CARTE DES NIVEAUX MOYENS ET DISCUSSION DES ERREURS	53
5.3. COUCHES DEDUITES DE LA PIEZOMETRIE DES NIVEAUX MOYENS	60
5.3.1. Epaisseur de craie "mouillée" (saturée).....	60
5.3.2. Epaisseur de la craie "sèche" (non saturée).....	62
5.3.3. Zone Non Saturée	62
5.3.4. Aquifère de la craie et relation avec les rivières.....	63
5.3.5. Relation entre surface piézométrique et géomorphologie	64
5.4. BATTEMENT DE L'AQUIFERE CRAYEUX.....	66
5.5. CARTOGRAPHIE DES HAUTES EAUX.....	71
5.6. ELABORATION DE LA PIEZOMETRIE DE BASSES EAUX	75
5.7. ZONES HUMIDES POTENTIELLES.....	78
6. CONCLUSION.....	81

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 - Les sous-régions naturelles de l'Eure géographique.....	14
Fig. 2 - Profils sismiques disponibles sur le département de l'Eure.....	16
Fig. 3 - Ecorché du substratum géologique sous les formations superficielles	20
Fig. 4 - Extensions et épaisseurs du Cénomaniens	23
Fig. 5 - Extensions et épaisseurs du Turonien	26
Fig. 6 - Allure des isohypses du toit du Turonien sur le département de l'Eure.....	27
Fig. 7 - Allure des isohypses du mur des calcaires lutétiens dans le département de l'Eure.....	31
Fig. 8 - Allure des isohypses du toit des calcaires lutétiens dans le département de l'Eure.....	32
Fig. 9 - Répartition des différentes typologies d'Argiles à Silex sur le département.....	34
Fig. 10 - Isopaques des argiles à silex	37
Fig. 11 - Schéma structural du département	43
Fig. 12 - Comportement de l'accident de la Seine au voisinage de la structure anticlinale de Saint-Illiers.....	44
Fig. 13 - Première carte piézométrique des niveaux moyens obtenus.....	50
Fig. 14 - Exemple de relation statistique recherchée entre piézométrie et morphologie.....	51
Fig. 15 - Répartition des points d'eau ayant servi à la réalisation de la carte piézométrique des niveaux moyens	52
Fig. 16 - Carte piézométrique des niveaux moyens de l'aquifère crayeux dans le département de l'Eure	53
Fig. 17 - Comparaison entre la carte piézométrique interpolée des niveaux moyens obtenus et les niveaux moyens des piézomètres.....	55
Fig. 18 - Comparaison entre la carte piézométrique interpolée des niveaux moyens obtenus et les niveaux de 50 points d'eau pris au hasard.....	56
Fig. 19 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique interpolée des niveaux moyens obtenus et l'ensemble des points de la BSS.....	57

Fig. 20 - Histogramme et distribution cumulée des écarts entre les données de la BSS et l'interpolation obtenue.....	57
Fig. 21 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points issus de la carte hydrogéologique de l'atlas hydrogéologique de l'Eure de 1989	58
Fig. 22 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points issus des cartes piézométriques CGG des départements de la Seine-Maritime et de l'Eure-et-Loir	58
Fig. 23 - Comparaison de niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points de densification pris en fond de vallée humide dans les linéaires où cours d'eau et aquifère de la craie sont interconnectés	59
Fig. 24 - Epaisseur de la craie mouillée en situation de niveaux moyens de l'aquifère crayeux	61
Fig. 25 - Epaisseur de la craie non saturée en situation de niveaux moyens.....	62
Fig. 26 - Carte des zones de rivières non drainantes probablement non connectées à l'aquifère de la craie et des vallées où l'aquifère crayeux est drainé par les cours d'eau drainants.....	63
Fig. 27 - Divers transects piézométriques témoignant des relations entre surface piézométrique et relief	65
Fig. 28 - Recherche de relation statistique entre différents paramètres morphologiques et le comportement de l'aquifère sur le départements de l'Eure	67
Fig. 29 - Examen des battements moyens sur les différents piézomètres anciens ou actifs	70
Fig. 30 - Variation relative moyenne des fluctuations des piézomètres et nombre de points disponibles de la BSS au fil du temps.....	71
Fig. 31 - Localisation des points représentant les hautes eaux.....	72
Fig. 32 - Amplitude des fluctuations entre les très hautes eaux et les moyennes eaux	73
Fig. 33 - Ecart entre les points en situation de très hautes eaux et les niveaux en moyennes eaux	74
Fig. 34 - Relations statistiques entre surface piézométrique théorique de basses eaux et points réels de basses eaux dans les zones de forte infiltration et zones de fort ruissellement.....	75
Fig. 35 - Estimation de la fluctuation entre le piézométrie théorique basses eaux et la piézométrie des niveaux moyens	76
Fig. 36 - Carte piézométrique des basses eaux interprétées	76

Fig. 37 - Localisation des points de basses eaux ayant servi à caler la piézométrie de basses eaux avec leur ordre de grandeur de fluctuations observées 77

Fig. 38 - Variation d'épaisseurs de la zone non saturée pour les trois cartes piézométriques différentes..... 78

TABLEAUX

Tabl. 1 - Cotes du toit du Cénomanién au droit des principales structures 46

Tabl. 2 - Cotes du toit du Turonien au droit des principales structures 47

ANNEXE

Ann. 1 – Piézométrie de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure 85

1. Introduction

La dernière version de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure date de 1989. Cette synthèse sur support papier consiste en une cartographie au 1/100.000 de la piézométrie moyenne de l'aquifère de la craie sur un fond topographique et géologique simplifié, une carte des prélèvements au 1/250.000 et une notice traitant des généralités (géographie, géologie, hydrologie, climatologie) et de l'aspect hydrogéologique (description des variations piézométriques et des caractéristiques des sources et ouvrages souterrains principaux). Cette version est épuisée et n'est plus disponible.

Par ailleurs, il a été récemment réalisé par la CGG et pour l'AESN et les Conseils Généraux concernés, un atlas hydrogéologique numérique de l'aquifère de la craie sur les départements voisins de l'Eure-et-Loir (2001) et de la Seine-Maritime (1999).

L'objectif du présent projet est de disposer d'un Atlas hydrogéologique au format numérique pour le département de l'Eure, réalisé selon une méthodologie similaire, ceci afin de pouvoir disposer de documents homogènes (l'Eure, situé entre la Seine Maritime et l'Eure-et-Loir, a bénéficié de ces données qui ont été réajustées à cette occasion pour ces deux départements).

Ce travail a été financé à parts égales par l'AESN délégation Seine Aval, le conseil Général de l'Eure et le BRGM.

Le projet comporte deux volets :

- un volet cartographique, réalisation de couches SIG géologiques et hydrogéologiques, objet du présent rapport,
- un volet bilan quantitatif de l'aquifère de la craie, objet d'un premier rapport BRGM distinct RP-52988-FR.

Les objectifs du présent volet cartographie consistent, sur la base des données BSS complétées par quelques données complémentaires (CG27, DDAF27, DDE27, CGG), à réaliser les couches SIG caractéristiques de la géométrie de l'aquifère crayeux à l'échelle 1/100 000, à savoir :

- les couches géologiques :
 - mur de la craie (mur du Cénomanién),
 - toit du Cénomanién,
 - toit de la craie (toit du Sénonien),
 - épaisseur des formations superficielles (limons des plateaux et Argiles à Silex),
- les cartes piézométriques :
 - piézométrie des niveaux moyens,
 - piézométrie très Hautes Eaux,
 - piézométrie Basses Eaux,
- cartes déduites de la géologie et de la piézométrie des niveaux moyens,
- épaisseur de craie sèche (craie non saturée),
- épaisseur de craie mouillée (craie saturée),
- zones humides potentielles.

-

2. Contexte géographique de la région

Le département de l'Eure, qui doit son nom au cours d'eau qui le traverse dans sa plus grande longueur, constitue la partie méridionale de la Haute-Normandie. Il est situé dans le nord-ouest du Bassin de Paris, épouse très sensiblement la forme d'un cœur et s'étend sur une superficie de 6 030 km², soit le 91^{ème} du territoire français.

Il est délimité au nord par le département de la Seine-Maritime, à l'est par ceux de l'Oise, du Val d'Oise et des Yvelines, au sud-est par l'Eure-et-Loir, au sud par l'Orne et à l'ouest par le Calvados.

Bordé à l'ouest par le Massif armoricain, le département de l'Eure se situe en marge nord-ouest du Bassin de Paris.

Son relief est pour l'essentiel façonné dans les terrains crayeux du Crétacé supérieur. Les contrastes lithologiques sont faibles et mal connus entre les différentes assises crayeuses. Il en résulte une morphologie d'ensembles relativement uniformes, de plateaux faiblement ondulés, incisés par des vallées parfois relativement encaissées. L'altitude moyenne est voisine de 150 mètres NGF. Elle s'élève jusqu'à 250 mètres dans le sud, aux abords du Perche et descend lentement vers la Seine au Nord où l'altitude n'est plus qu'à quelques mètres au-dessus du 0 NGF.

Le réseau hydrographique de surface, modérément développé, est concentré sur un petit nombre de rivières principales (fig. 1).

Au nord, ce sont la Seine et ses affluents de rive droite :

- l'Andelle et ses affluents (Héronnelle, Crévon, Lieure, Fouillebrosc),
- le Cambon,
- enfin l'Epte et ses affluents (Bonde, Levrière, Troesne, Aubette).

Le sud est traversé par les rivières descendues du Perche qui rejoignent la Seine en rive gauche :

- à l'ouest, la Risle et son affluent la Charentonne (et son affluent le Guiel),
- à l'est, l'Eure et ses principaux affluents Iton et Avre.

Une mosaïque de régions naturelles ou "pays" (fig. 1), se juxtaposent, du nord au sud de la Seine :

Au nord de la Seine :

- le Pays de Lyons, essentiellement forestier, irrigué par l'Andelle,
- le Vexin normand, grande plaine de culture faiblement ondulée, sans rivière d'importance,
- le Vexin bossu, à l'ouest de l'Epte, tire son nom d'un relief nettement plus vallonné.

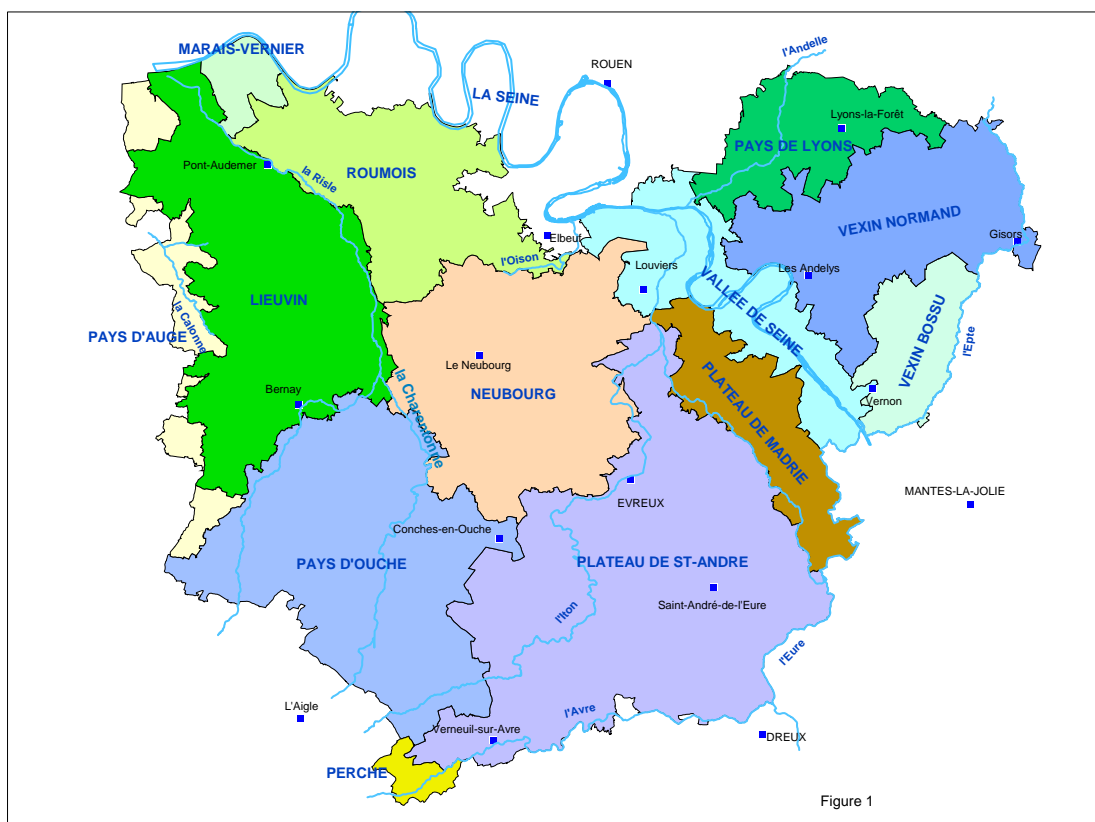


Fig. 1 - Les sous-régions naturelles de l'Eure géographique

Au sud de la Seine :

- le Marais-Vernier, zone humide proche de l'embouchure de la Seine, aux pieds des falaises,
- le Roumois, rappelant le pays de Caux, fait transition entre la vallée de la Seine, qui le limite au nord, et le bocage du Lieuvin au sud,
- le Lieuvin, pays de bocages, délimité à l'est par les vallées de la Risle et de la Charentonne,
- le Pays d'Ouche, également bocager, à l'est de la Charentonne, divisé en deux par la vallée de la Risle,
- le Plateau de Saint-André-de-l'Eure, qui s'insère entre les vallées de l'Eure et de l'Avre à l'est et la vallée de l'Iton à l'ouest,
- le Plateau de Madrie, entre Eure et Seine,
- le Neubourg, central, très faiblement ondulé, bordé par la Risle à l'ouest, l'Iton et l'Eure à l'est.

D'Elbeuf à Vernon, la "Vallée de Seine" forme une région spécifique de plaines alluviales industrialisées.

Une frange étroite et discontinue à l'ouest du Lieuvin, appartient déjà au Pays d'Auge, tandis que la pointe sud du département forme l'avant-garde du Perche.

3. Données

3.1. COLLECTE DES DONNEES

Lors de la phase de collecte des données, l'une des tâches principales a été la numérisation des dossiers de la BSS qui ne l'étaient pas encore.

Un travail de calage (choix de coupes géologiques de référence sur tous les huitièmes de cartes géologiques pour trouver des repères stratigraphiques) a été au préalable nécessaire pour essayer de pouvoir se positionner le plus souvent possible en stratigraphie sur les coupes géologiques : ces éléments stratigraphiques sont rarement indiqués dans les dossiers BSS, du fait de la qualité souvent médiocre des données sources.

Le déstockage a ensuite été effectué sur l'ensemble des cartes géologiques à 1/50 000 qui intersecte en partie ou totalité le département de l'Eure : on dispose donc également de données numérisées aux pourtours du département de l'Eure.

L'ensemble des données BSS déstockées représente 9175 lignes de données sur la géologie et/ou des niveaux d'eaux, sachant qu'un dossier BSS avec 2 niveaux d'eaux occasionnent 2 lignes de données.

Ont également été numérisés tous les dossiers complets BSS en cours d'instruction, les données récupérées auprès du Conseil Général de l'Eure, la CGG, la DDAF de l'Eure et surtout de la DDE de l'Eure (données sur les recherches de marnières), ce qui représente 336 lignes de plus.

Ces 9511 lignes de données constituent ce qui sera appelé ensuite le jeu de données "BSS élargie". Si on élimine les points du Tertiaire, on dispose d'un jeu de 9403 lignes de données, dont 7259 sur le département de l'Eure (561 points sources et 5220 forages).

L'ensemble de ces données ponctuelles du département a été reporté en planche n° 1 hors texte (échelle 1/100 000).

Si l'on examine la répartition des données ponctuelles, on constate qu'elles couvrent globalement bien tout le département, avec des densités plus faibles sur de nombreux plateaux (Roumois, Plaine de Neubourg, Pays d'Ouche, cœur du plateau de Saint-André-de-l'Eure, façade Seine du Vexin Normand) et de fortes densités en vallée de Seine autour des grandes agglomérations, et en l'aval de la vallée de l'Eure.

Mais la grande majorité des points de la "BSS élargie" offrent souvent comme unique information utile pour les travaux de cartographies un niveau d'eau. Les données géologiques sont beaucoup moins nombreuses (moins d'1 point BSS sur 4) et souvent ces données ne concernent que la proche surface qui est déjà relativement bien connue par les cartes géologiques à 1 /50 000. La qualité des connaissances actuelles sur la craie reste relativement faible.

Les données sismiques pétrolières (CGG) sont également rares (fig. 2) et ne concernent qu'assez peu les éléments structuraux géologiques connus.

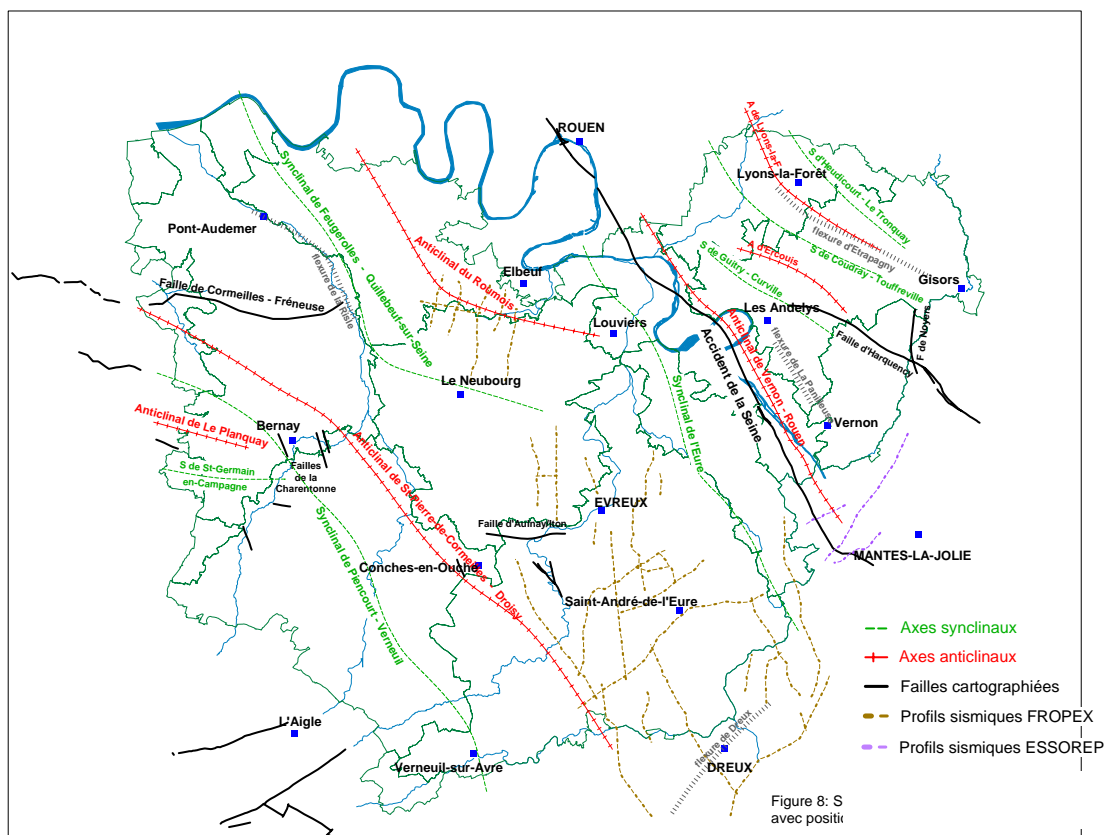


Fig. 2 - Profils sismiques disponibles sur le département de l'Eure (fonds structural de la craie en couche de fonds)

Pour densifier les maillages de points ayant servi à élaborer la couche piézométrique des niveaux moyens (chapitre 5.1), ont également été pris en compte les données issues des atlas hydrogéologiques numériques réalisés par la CGG sur les données de L'Eure-et-Loir et de la Seine-Maritime (1065 points) et des données issues des isopièzes numérisés de l'Atlas de l'Eure de 1989 (1323 points).

3.2. HARMONISATION AVEC LES DEPARTEMENTS VOISINS

Le jeu des données utilisées pour l'interpolation débordent du département de l'Eure : 2144 lignes de données correspondent à des ouvrages situés hors du département.

Il a d'abord été réalisé des couches SIG qui débordent largement du département. Les couches géologiques ont été ensuite harmonisées et lissées avec les données déjà existantes du BRGM et de la CGG, sur les départements voisins (Eure-et-Loir, Seine-Maritime, mais aussi Ile-de-France). On notera que cet ajustement au profit de l'Eure implique quelques modifications sur les couches déjà disponibles sur les départements voisins.

Pour la piézométrie des niveaux moyens, les couches élaborées débordent largement du département. Elles ont réutilisé les données antérieures des atlas hydrogéologiques de la Seine-Maritime et de l'Eure-et-loir et sont donc de facto harmonisées. Une jointure des fichiers piézométriques des trois départements 27,28 et 76 peut aisément être faite par un biseau numérique, sachant que ce sont les données de l'Eure qui vont guider les ajustements des fichiers de couches antérieures du fait de la position centrale de l'Eure.

4. Contexte géologique

Il est caractérisé par deux traits principaux :

- un substratum géologique crétacé essentiellement crayeux, qui renferme l'important aquifère de la craie. Dans la partie orientale du département, il est scellé par une succession de terrains sableux et calcaires tertiaires, qui contiennent plusieurs aquifères libres de moindre importance,
- l'existence d'un vaste manteau de formations superficielles, formant l'essentiel du sous-sol immédiat, masquant largement le substratum crayeux.

4.1. LE SUBSTRATUM GEOLOGIQUE SOUS LES FORMATIONS SUPERFICIELLES

Il est en large majorité formé des terrains crayeux d'âge Crétacé supérieur (Cénomaniens à Sénoniens) recouverts, dans la partie orientale du département, par les couches du Tertiaire (fig. 3).

Les formations supportant la craie n'affleurent qu'exceptionnellement, à la faveur des entailles de certains cours d'eau, dans le NW du département :

- En bordure de la Risle d'une part, autour de Pont-Audemer, où l'Albien sableux apparaît localement en bas de versant,
- Au fond des petites vallées de la Calonne et du Douet-Tourtelle, dans les alentours de Cormeilles et de Saint-Pierre-de-Cormeilles (Lieuvin) d'autre part. Les deux cours d'eau se sont encaissés dans les terrains allant du Cénomaniens jusqu'à l'Oxfordien, au cœur d'une structure anticlinale limitée au sud par la faille de Cormeilles – Pont-Authou.

Cette topographie en "canyon" de l'aval des principales rivières est à associer aux importantes variations eustatiques de la façade occidentale de l'Europe depuis 2,5 Millions d'années. L'érosion régressive, surtout marquée pendant les cycles glaciaires, est à un stade encore jeune, qui ne se marque pas sur les plateaux hérités du Tertiaire.

Après un aperçu des formations albiennes, qui forment la sole imperméable de l'aquifère de la craie, les différentes assises de la craie puis celles du Tertiaire sont décrites de manière plus détaillée, dans l'ordre stratigraphique.

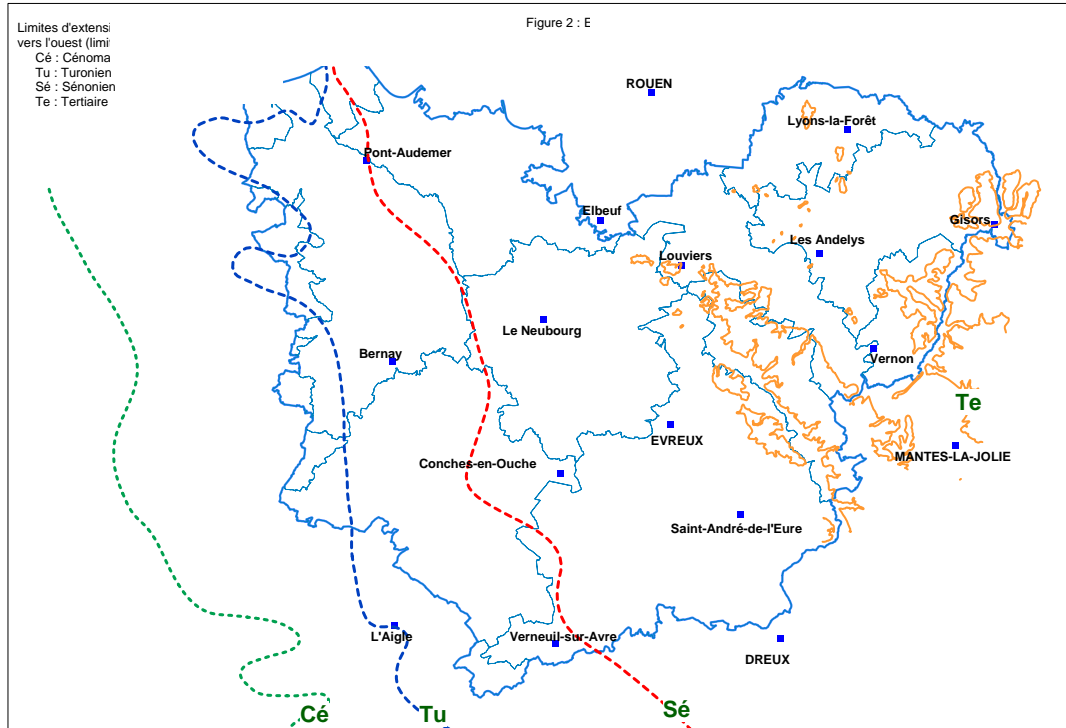


Fig. 3 - Ecorché du substratum géologique sous les formations superficielles

Limites d'extension des formations vers l'ouest (limites d'érosion)
Cé : Cénomanién
Tu : Turonien
Sé : Sénonien
Te : Tertiaire

4.1.1. Les formations albiennes supportant de la Craie

La répartition des faciès au mur du Cénomanién reflète la paléogéographie de la fin de l'Albien. Le Massif armoricain, émergé à l'ouest de l'actuelle vallée de l'Orne, est à cette époque bordé par une frange peu épaisse de dépôts marins détritiques, alimentés par l'érosion continentale. Vers le centre du Bassin de Paris, des faciès argilo-carbonatés de plate-forme carbonatée (mer plus ouverte) prennent le relais.

Ce sont essentiellement ces faciès encore détritiques (la **Gaize** et l'**Argile du Gault** sous-jacente) qui forment le mur du Cénomanién dans l'emprise du département. Leurs passages latéraux aux faciès détritiques de bordure, rassemblés sous la dénomination **Glauconie de base**, n'intéressent que la marge occidentale, à l'ouest de Bernay (Lieuvin).

- La **Gaize** est typiquement un faciès proche d'un grès fin, pouvant localement admettre des lentilles de galets phosphatés et des niveaux glauconieux. Sur le pourtour du Bray, elle évolue vers un faciès décarbonaté, à abondants spicules de spongiaires et accidents siliceux de type chert. Son épaisseur atteint 12 mètres vers Pont-Audemer (Lieuvain),
- La Gaize repose sur l'**Argile du Gault**, qui constitue le véritable niveau imperméable isolant l'aquifère de la craie à sa base. Il s'agit d'un faciès de marnes noires plastiques, parfois sableuses et très glauconieuses, comportant un horizon basal de remaniement à graviers ;
- A partir de Bernay dans le Lieuvain, l'ensemble **Gaize** et **Argile du Gault** s'amincit et passe latéralement vers l'ouest à la **Glauconie de base**. Celle-ci, d'épaisseur variable excédant rarement 5 mètres, comprend :
- A la base, un sable quasi-exclusivement constitué de grains de glauconite, à passées de graviers et galets phosphatés, véritable glauconite, placée en équivalence latérale de l'**Argile du Gault**,
- Au sommet, un sable glauconieux enrichi en carbonates, considéré équivalent latéral de la **Gaize**.

Ainsi, dans l'emprise du département, la craie repose partout sur des couches *a priori* imperméables à faciès argilo-carbonaté, sauf en marge occidentale, où elle est supportée par une mince semelle de dépôts sableux. On mentionnera dans le SW, dans l'Orne, que des intercalations de sables (sables du Perche, sables du Maine) ne semblent pas affecter l'Eure.

Une carte structurale de la surface de contact entre la Craie et les formations imperméables albiennes qui la supportent, a été élaborée (« Mur de la craie »), à échelle 1/100 000. Elle est présentée en planche hors-texte n°5, et commentée dans le chapitre 4.4 consacré au contexte structural.

4.1.2. Les assises de la craie

La série de la craie de l'Eure est constituée des couches cénomaniennes à sénoniennes. Elle est la plus complète à l'est, sous le recouvrement tertiaire, où manquent cependant la partie terminale du Sénonien et la totalité du Maastrichtien. La troncature du sommet la craie par les altérations et érosions post-crétacées est de plus en plus accentuée en direction de l'ouest. Sur la marge occidentale du département, une partie seulement des couches cénomaniennes subsiste sous les argiles à silex.

Les différentes couches du Crétacé supérieur sont fréquemment définies à partir de localités types, aux affleurements de bordure des grandes vallées et des falaises maritimes. Leur dénomination reflète le plus souvent cette localisation (exemple **Craie de Rouen**). Des appellations plus stratigraphiques, intégrant le nom des fossiles marqueurs sont parfois proposées, (ex : **Craie à *Actinocamax plenus***) en synonymie approximative ou partielle.

En sondage, ces dénominations sont rarement employées. Les termes utilisés sont souvent lithologiques (ex : craie blanche à silex), complétés par une interprétation stratigraphique.

Les interprétations proposées ci-dessous proviennent des données disponibles lors de la présente étude. De nouvelles données pourraient modifier ce schéma dans le futur (faciès, épaisseur, structure).

Bien qu'obsolète, on gardera ici le terme de Sénonien, les données disponibles ne permettant pas d'affiner l'extension précise de chaque étage (Coniacien, Santonien, Campanien).

4.1.3. Les craies cénomaniennes

Elles reposent sur les formations albiennes par l'intermédiaire d'une surface d'érosion régionale. Elles n'affleurent véritablement qu'à la faveur des entailles des vallées du nord-ouest et de l'ouest du département (Seine, Risle et Charentonne) et très localement en bordure de l'Oison et de l'Iton.

Le Cénomaniens est généralement complet, protégé de l'érosion sous le Turonien (fig. 3). Ce n'est que dans l'extrême ouest du Lieuvin et dans la frange de pays d'Auge qu'il est partiellement tronqué par les formations superficielles.

a) Répartition des faciès

Au Cénomaniens inférieur, les faciès transgressifs se répartissent globalement selon une polarité ouest-est, guidée comme à la fin de l'Albien par la présence de la bordure du Massif armoricain émergeant à faible distance vers l'ouest.

A l'ouest, occupant le Roumois, le Lieuvin, le Neubourg ainsi que la partie occidentale du pays d'Ouche, s'étale un faciès crayeux de bordure. S'y mêle une composante détritique (quartz, mica, ...) alimentée par l'érosion du Massif armoricain. Ce sont des craies sableuses et glauconieuses, dont le type est la **Craie sableuse du Mont-Gargan** définie près de Rouen.

Localement, le détritisme peut-être plus accentué, souligné par de véritables intercalations gréseuses ou sableuses glauconitiques. C'est le cas notamment au sein de la **Glauconie sableuse d'Eauplet**, sur laquelle repose la **Craie sableuse du Mont-Gargan** citée ci-dessus.

Vers l'est, en direction du centre du bassin, les dépôts deviennent plus franchement crayeux, par réduction progressive de la charge détritique. C'est le faciès largement répandu de la "**Craie glauconieuse**". Il est typiquement organisé en une succession de séquences débutant chacune par des marnes glauconieuses, bioclastiques à débris phosphatés, évoluant vers une craie grise à beige à silex et se terminant par une craie noduleuse à terriers coiffés par un hard-ground.

Localement, au sein de la "**Craie glauconieuse**", apparaissent des couches à spongiaires (Lieuvin et Roumois), ou des niveaux de **Gaize** (sud du Roumois, nord du Neubourg et approches du Perche). Aux abords des haut-fonds du Bray et de Lillebonne, individualisés à cette période, les dépôts, moins épais, comportent des intercalations argilo-sableuses et glauconitiques.

Au Cénomanién moyen à supérieur, la transgression se poursuit. La polarité ouest-est antérieure s'estompe dans l'emprise du département, où se généralise un faciès pélagique franchement crayeux homogène, sans influence continentale notable. C'est le faciès de la "**Craie de Rouen**" : Craie blanche à crème, à fréquents lits de silex et rares horizons noduleux et glauconieux, délimitée, à la base comme au sommet, par des surfaces d'érosion à glauconie et phosphate. Des conditions particulières de condensation peuvent toutefois se manifester localement, à l'aplomb de la ride de Rouen, haut-fond d'orientation NW-SE qui s'individualise à cette période.

La fin du Cénomanién coïncide avec la culmination de la transgression. La craie franche laisse la place à une craie légèrement argileuse à passées noduleuses et glauconieuses, voire à des marnes crayeuses, sans silex. C'est l'épisode de la "**Craie à Actinocamax plenus**" ou des "**Marnes à Actinocamax plenus**", très largement répandues dans l'ensemble du Bassin de Paris, où s'installe un domaine marin profond.

Une certaine instabilité structurale se manifeste localement, permettant notamment la pérennité de certains haut-fonds, comme la ride de Rouen, siège d'une sédimentation condensée à niveaux phosphatés.

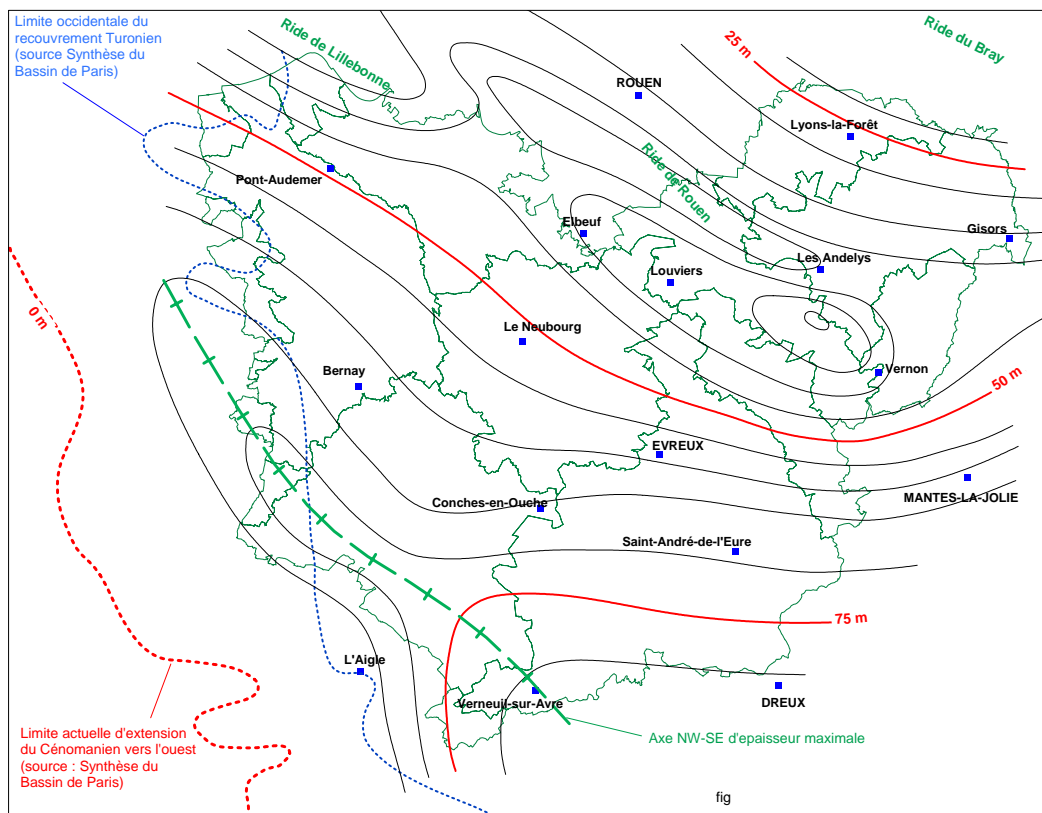


Fig. 4 - Extensions et épaisseurs du Cénomanién

b) Variations d'épaisseur

Le Cénomaniens (fig. 4) est préservé sous son épaisseur originelle dans la majeure partie du département, en raison du recouvrement turonien protecteur.

Il est résiduel dans l'extrême ouest du Lieuvin et la frange du Pays d'Auge, où les altérations et érosions post-crétacées ont tronqué sa partie supérieure. Il est alors directement recouvert par les formations superficielles.

La répartition des épaisseurs reflète la disposition des principaux traits paléogéographiques de l'époque :

- La bordure des hauts-fonds septentrionaux, d'une part (axe de Lillebonne, rides de Rouen et du Bray), à proximité desquels l'épaisseur devient nettement inférieure à 35 mètres, en particulier aux abords du Bray où elle est inférieure à 20 mètres. La réduction d'épaisseur constatée est liée à la condensation des dépôts à l'aplomb de ces structures hautes, fonctionnelles pendant cette période ;
- La bordure du Massif armoricain d'autre part, à l'ouest et au sud-ouest. L'épaisseur se réduit à moins de 50 mètres, jusqu'aux environs de la vallée de la Touques (département de l'Orne) où le Cénomaniens disparaît complètement. Cette réduction d'épaisseur est principalement liée aux érosions post-crétacées. Elle est pour une plus faible part liée à un amincissement originel progressif de la série, aux approches du Massif armoricain émergé ;
- Entre ces deux bordures, existe une zone de plus forte puissance, d'axe NW-SE, s'évasant nettement vers le SE, en direction de la Beauce. L'épaisseur, voisine de 65 mètres dans le sud-ouest du Lieuvin, dépasse 75 mètres dans le sud du Pays d'Ouche et du Plateau de Saint-André-de-L'Eure. Sous la Beauce, des sondages ont traversé plus de 100 mètres de craie cénomaniens.

Une carte structurale du sommet du Cénomaniens, à échelle 1/100 000, est présentée en planche hors-texte n°4. Elle est commentée dans le chapitre 4.4 consacré au contexte structural.

4.1.4. Les craies turoniennes

Dans l'emprise du département, le Turonien est entièrement sous faciès crayeux. Un hard-ground régional (Antifer n°3) sépare la craie cénomaniens de la craie turonienne.

Cette dernière affleure sur les versants de la plupart des grandes vallées, et notamment celle de la Seine. Sur les plateaux, elle est systématiquement masquée par les formations superficielles.

A l'est d'une ligne NNW-SSE joignant approximativement Pont-Audemer à Verneuil-sur-Avre (fig. 3), la série turonienne est complète, protégée des altérations et des érosions post-crétacées par le Sénonien. Ce n'est pas le cas à l'ouest, dans la majeure partie du Lieuvin et le Pays d'Ouche. Elle y est partiellement tronquée, directement

recouverte par les formations superficielles. Elle disparaît à la frange extrême occidentale du département.

a) Répartition des faciès

Trois formations crayeuses se succèdent, attribuées respectivement au Turonien inférieur, moyen puis supérieur. Ce sont de la base au sommet :

- **La Craie marneuse à *Inoceramus labiatus***, contrairement à ce que laisse supposer son qualificatif, est très carbonatée, (80 à 90% de CaCO₃). Elle est homogène, en gros bancs d'épaisseur métrique, et généralement dépourvue de silex.

Elle ne présente pas de variation lithologique notable dans l'emprise du département. Seules quelques différenciations mineures et localisées sont rapportées : présence de niveaux noduleux dans le Lieuvin, et de silex abondants dans le Marais-Vernier, le nord est du Lieuvin et du Roumois. Elle se rencontre parfois sous une appellation locale équivalente : La **Craie noduleuse de la Poterie Belbeuf**. Elle est parfois nommée plus simplement **Craie à *Inoceramus labiatus***, **Craie marneuse** ou encore **Craie argileuse**, termes en principe réservés pour des craies de même âge, mais de faciès légèrement différent et spécifique des régions plus méridionales (Touraine, nord de l'Anjou et Berry).

La **Craie de Maromme** est bien représentée dans les affleurements du Lieuvin et du Roumois. C'est une craie blanche tendre, en gros bancs à litage fruste, à rares lits de silex, se terminant localement par deux hard-grounds noduleux bioturbés à galets (dénommés Tilleul n°1 et 2). Elle est parfois nommée **Craie à *Conulus subrotundus***.

- **La Craie de Blosseville-Bonsecours** du Turonien supérieur possède un caractère légèrement régressif. Elle est assez grossière, coquillière, à lits de silex noirs. Vers le sommet, elle admet des niveaux dolomitiques, ainsi qu'un faisceau de hard-grounds associés à une structure noduleuse.

Nettement plus riche en silex que les précédents, ce faciès ne présente de variations notables que dans le Lieuvin, le Roumois et la bordure sud du Bray, au NE. Là, la craie devient très biodétritique, avec développement de bancs sous-marins à bryozoaires (formant des monticules atteignant parfois une hauteur de 10 mètres). Hard-grounds et brèches sédimentaires y sont fréquents, témoignant de conditions plus dynamiques dans ces régions septentrionales, susceptibles d'avoir fonctionné en haut-fonds à cette période.

Les termes synonymes approximatifs **Craie à *Sternotaxis* (ou *Holaster*) *planus*** et **Craie à *Micraster leskei*** sont parfois employés.

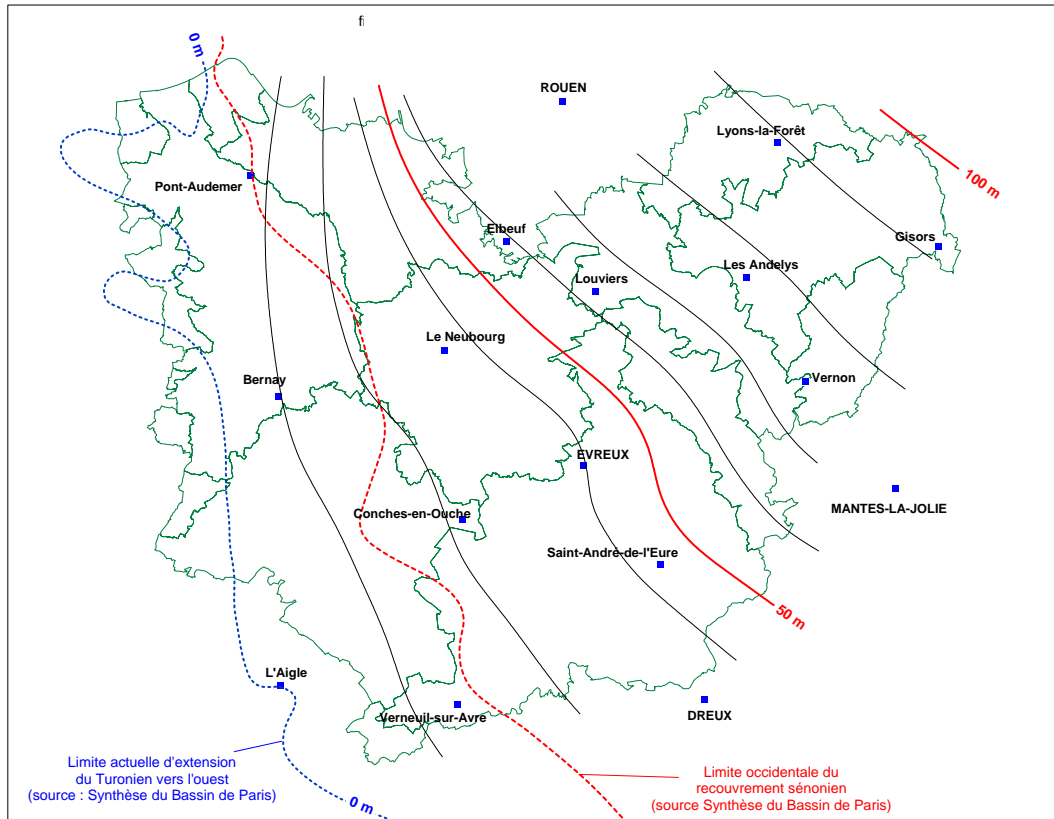


Fig. 5 - Extensions et épaisseurs du Turonien

b) Variations d'épaisseur

Le Turonien est préservé avec sa puissance originelle, lorsqu'il est recouvert par le Sénonien, c'est-à-dire à l'est d'une ligne joignant approximativement Pont-Audemer à Verneuil-sur-Avre.

Dans ce domaine, l'épaisseur globale (fig. 5) augmente relativement régulièrement du SW vers le NE et l'E, passant de 30 à 100 mètres. Aucune zone de sur-épaississement ou d'amincissement particulier n'est apparente.

A l'ouest du domaine, la craie turonienne n'est que partiellement préservée, tronquée par les altérations et les érosions post-crétacées (cuesta). Son épaisseur, résiduelle est généralement inférieure à 30 mètres.

Une carte structurale du sommet du Turonien, est présentée en fig. 6 ci-dessous. Elle est commentée dans le chapitre 4.4 consacré au contexte structural.

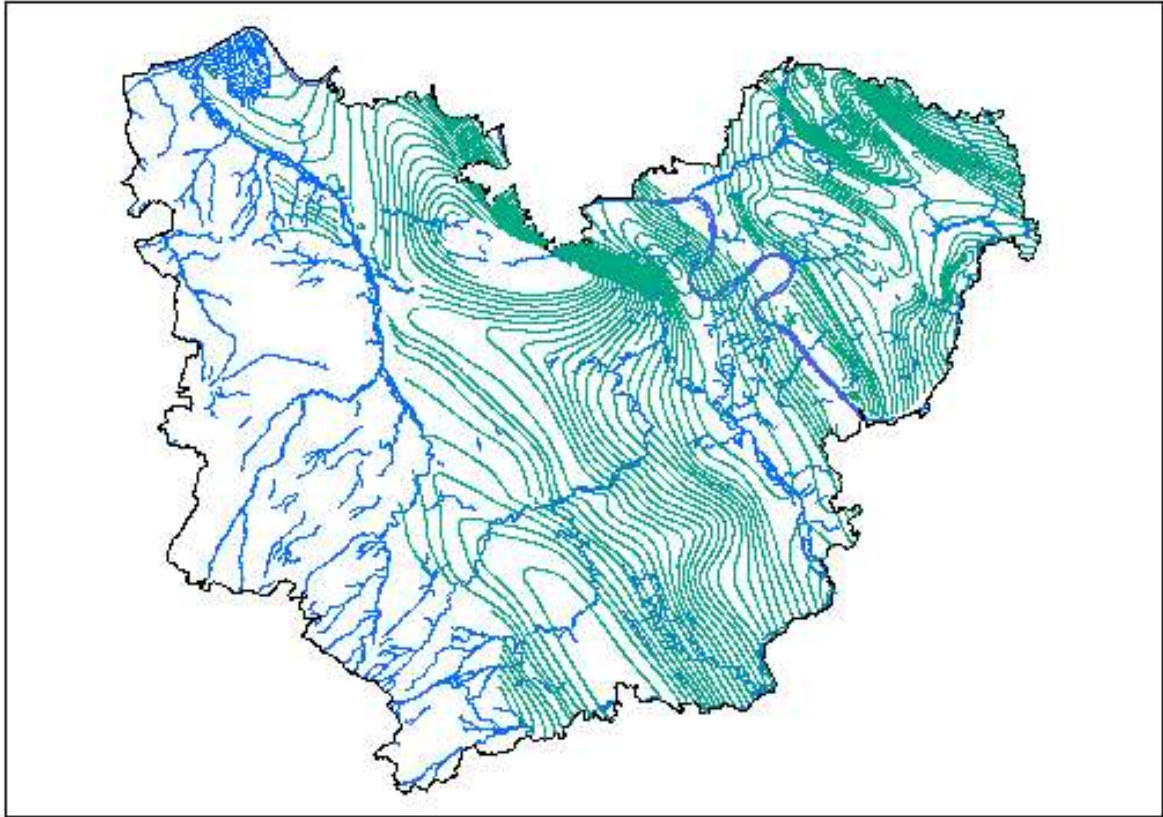


Fig. 6 - Allure des isohypses du toit du Turonien sur le département de l'Eure

4.1.5. Les craies sénoniennes

C'est dans l'est du département, sous le recouvrement tertiaire, que la série crayeuse sénonienne (Coniacien, Santonien et Campanien) est la plus complète. En dehors de ce domaine, elle est tronquée par les altérations et érosions post-crétacées. Elle se réduit progressivement par le haut, de plus en plus à mesure que l'on se rapproche de la Risle. Sous les formations superficielles, le Plateau de Saint-André-de-l'Eure, la Vallée de Seine, le Pays de Lyons et le Vexin normand sont encore charpentés par les craies santoniennes et campaniennes. Dans le Roumois, le nord du Neubourg, le sud du Lieuvin et le Pays d'Ouche, seules les craies coniaciennes sont encore préservées. Le Sénonien est totalement déblayé à l'ouest de la Risle et de la Charentonne, où l'**Argiles à silex** entame déjà les craies turoniennes.

Les affleurements sont limités aux versants des vallées entaillées dans l'est du département (Seine, Eure, Avre, Iton, Epte).

a) Répartition des faciès

Après un court épisode régressif à la base, les faciès de craie se généralisent, dans un contexte de sédimentation relativement dynamique. A l'aplomb de haut-fonds localisés,

s'édifient des bio accumulations de bryozoaires et se produisent des concentrations magnésiennes.

Les craies coniaciennes s'organisent en deux formations successives, qui sont, de la base au sommet :

- La **Craie de Saint-Etienne-du-Rouvray**, craie dolomitique dure, jaunâtre, en bancs épais, à lits de silex, et à pigments noirs d'oxydes de manganèse (d'où le synonyme **Craie poivrée** qui lui est parfois attribué). Sa partie basale est parfois individualisée sous la dénomination **Craie à *Micraster normanniae***, qui pourrait encore appartenir au Turonien terminal.

La **Craie de Quevilly** est une craie blanche assez grossière, en bancs épais séparés par des lits de silex.

Ces deux formations sont parfois regroupées sous l'appellation **Craie à *Micraster decipiens*** (ou "**Craie à *Micraster cortestudinarium***"), dont elles constituent respectivement les parties inférieure et supérieure.

Les craies strictement santoniennes, dont l'épaisseur peut dépasser 80 mètres du Pays de Caux au Pays d'Ouche, se répartissent en trois formations qui sont, de la base au sommet :

- La **Craie d'Orival** désigne la série crayeuse de la transition Coniacien-Santonien. Il s'agit d'une craie blanche grossière, granuleuse, à bryozoaires, à lits de silex zonés et niveaux phosphatés. Son épaisseur varie de 40 à 70 mètres. Elle est parfois désignée sous différentes appellations locales équivalentes : **Craie de Moulinaux**, **Craie à Silex zonés**, **Craie à bryozoaires** et **Craie à *Micraster intermedius***.

Elle correspond à la partie inférieure de la "**Craie à *Micraster coranguinum***", dont les parties médiane et supérieure, strictement santoniennes sont représentées respectivement par la **Craie de Cantelieu** et la **Craie de Belbeuf** (Cf. ci-dessous).

- La **Craie de Cantelieu**, craie fine, blanche, à nombreux silex noirs. Son épaisseur avoisine 30 mètres.

- La **Craie de Belbeuf** est une craie fine tendre, blanche, traçante, à nombreux silex noirs et quelques ébauches de hard-grounds. Son épaisseur, résiduelle sous les argiles à silex, est de l'ordre de 20 à 30 mètres.

Ces trois formations sont regroupées sous l'appellation compréhensive **Craie à *Micraster coranguinum***, dont elles constituent respectivement les parties inférieures, médiane et supérieure.

La série crayeuse campanienne comporte également deux formations successives, de la base au sommet :

- La **Craie de St-Pierre-les-Elbeuf**, tendre et fine, blanc-crème, traçante, à rares silex noirs. A l'affleurement, son épaisseur résiduelle et tronquée par les argiles à silex est de 10 à 15 mètres.

- La **Craie d'Ailly**, blanche à silex noirs, épaisse d'une dizaine de mètres.

Ces deux formations ne sont pas toujours distinguées, parfois regroupées commodément sous l'appellation locale ancienne "**Craie blanche à Belemnitelles**".

En raison de leur relative homogénéité de couleur, les craies sénoniennes sont parfois désignées de manière compréhensive sous la dénomination générale **Craie blanche**. Il s'agit cependant d'un emploi commode mais contestable car cette appellation est spécifiquement réservée au Sénonien du nord du bassin de Paris.

b) Variations d'épaisseur

Les vallées de la Risle et de la Charentonne marquent la limite actuelle d'extension vers l'ouest des craies sénoniennes (cuestas). A l'est de cette limite, l'épaisseur du Sénonien est partout résiduelle, réduite par les altérations et les érosions post-crétacées.

De la Risle au Pays de Lyons, la puissance résiduelle passe de 0 à plus de 200 mètres. Cependant, dans l'extrême E du département, l'épaisseur du Sénonien se réduit localement à une centaine de mètres à l'approche de la structure anticlinale de Mantes-la-Jolie.

Une carte structurale de la surface de contact entre la craie et les formations de couverture (formations superficielles et terrains tertiaires), à échelle 1/100 000, est présentée en planche hors-texte n°2. Elle est commentée dans le chapitre 4.4 consacré au contexte structural.

4.2. LES TERRAINS TERTIAIRES DE L'EST DU DEPARTEMENT

Les terrains d'âge paléocène à oligocène occupent la partie orientale du département. Ils sont présents principalement à l'ouest de la Seine, où ils coiffent les craies campaniennes du Plateau de Madrie et de l'est du Plateau de Saint-André-de-l'Eure. Ils occupent aussi les reliefs du plateau du Vexin bossu et de l'est du Vexin normand. Enfin, quelques placages ou poches karstiques existent dans le nord-est du Neubourg et dans le pays de Lyons.

La présence des couches tertiaires revêt une double importance au plan hydrologique :

- D'une part, l'aquifère de la craie est fréquemment captif sous la couverture tertiaire,
- D'autre part, cette couverture forme un système aquifère multicouche libre, généralement séparé de l'aquifère de la Craie par l'imperméable des **Argiles plastique** (Eocène inférieur).

Ils sont décrits ci-dessous de la base vers le sommet, regroupés en fonction de leur comportement aquifère ou imperméable.

4.2.1. Les terrains aquifères paléocènes

- Ils ne sont conservés qu'au NE de la vallée de la Seine. Là, ils recouvrent la craie de manière discontinue, prolongeant en quelque sorte vers le haut l'aquifère de la Craie. Deux formations successives sont reconnues, de la base au sommet :
 - le **Calcaire de Bray-et-Lu**, d'âge Paléocène inférieur à supérieur (Dano-Montien). C'est un calcaire grossier, de type récifal, très fossilifère, d'épaisseur variable comprise entre 0 et 15 mètres, scellant la paléotopographie de la craie,
 - des placages peu épais (0 à 7 mètres) et très discontinus de sables à faciès variés : sables fins argileux à silex verdis, sables moyens à grossiers à éclats de silex et galets, sables fins versicolores. Ils représentent la transition Paléocène - Eocène.

4.2.2. L'imperméable "sparnacien"

Il sépare l'aquifère de la Craie des systèmes aquifères éocènes. Il correspond à la formation de l'**Argile plastique**, localement connue sous les appellations **Argile plastique de Vaugirard** ou **Argile plastique bariolée du Vexin**. Il s'agit d'une argile gris bleuté, ocre, smectitique à la base, kaolinique et illitique au sommet, admettant des lits lumachelliques à huîtres et cyrènes. Son épaisseur excède rarement 10 mètres.

La couche imperméable est présente dans la quasi-totalité de la zone de recouvrement tertiaire, à l'exception de la partie centrale du Plateau de Madrie, entre Seine et Eure, où la Craie est directement au contact des aquifères éocènes (**Sables de Cuise**).

Cependant, l'**Argile plastique** ne scelle directement la Craie que dans le nord du Plateau de Madrie et au SE, dans le méandre de l'Eure, vers Ivry-la-Bataille. Au NE de la Seine (cf. ci-dessus), elle recouvre les couches calcaires et sables aquifères paléocènes, qui étendent vers le haut le puissant aquifère de la Craie.

4.2.3. Les terrains aquifères éocènes

- Les **Sables de Cuise**, d'âge Eocène inférieur. A la base, ils sont fins, micacés, à petits galets de silex. Au sommet, ils deviennent plus argileux. Leur puissance est variable, comprise entre 10 et 20 mètres. Localement, en rive droite de l'Eure, dans le centre du Plateau de Madrie, ils recouvrent directement la craie. Ils ne sont pas connus à l'ouest de la vallée de l'Eure. Ailleurs, ils reposent sur l'**Argile plastique** imperméable, qui les sépare de l'aquifère de la Craie, localement augmentée des terrains aquifères paléocènes
- Le complexe éocène moyen à supérieur. Il s'agit d'un ensemble de formations calcaires, séparées par des niveaux discontinus de sables aquifères. Les calcaires participent également aux circulations aquifères en raison de leur karstification. De la base vers le sommet se succèdent :

- Le **Calcaire grossier**, déposé lors de la transgression lutétienne (Eocène moyen), dont le rivage occidental dépasse à peine l'actuelle vallée de l'Eure. Il s'agit d'un calcaire sableux grossier, glauconieux, à galets de silex, à litage oblique, surmonté d'un calcaire à *Miliolites* puis d'une alternance de marnes et de calcaire souvent silicifiés. Son épaisseur varie de 0 à 30 mètres au maximum, en rive droite de l'Eure.

Deux cartes structurales de la base et du sommet des calcaires lutétiens, à échelle 1/125000, sont présentées en fig. 7 et 8.

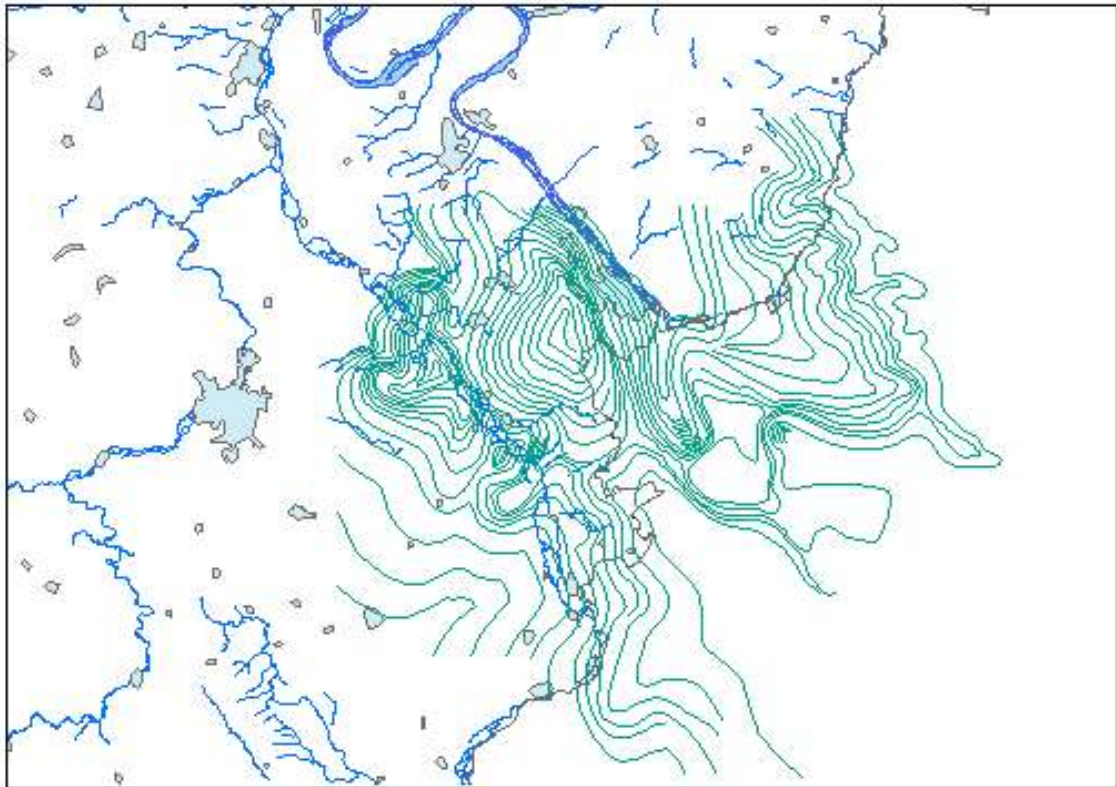


Fig. 7 - Allure des isohypses du mur des calcaires lutétiens dans le département de l'Eure (harmonisée avec les départements voisins)

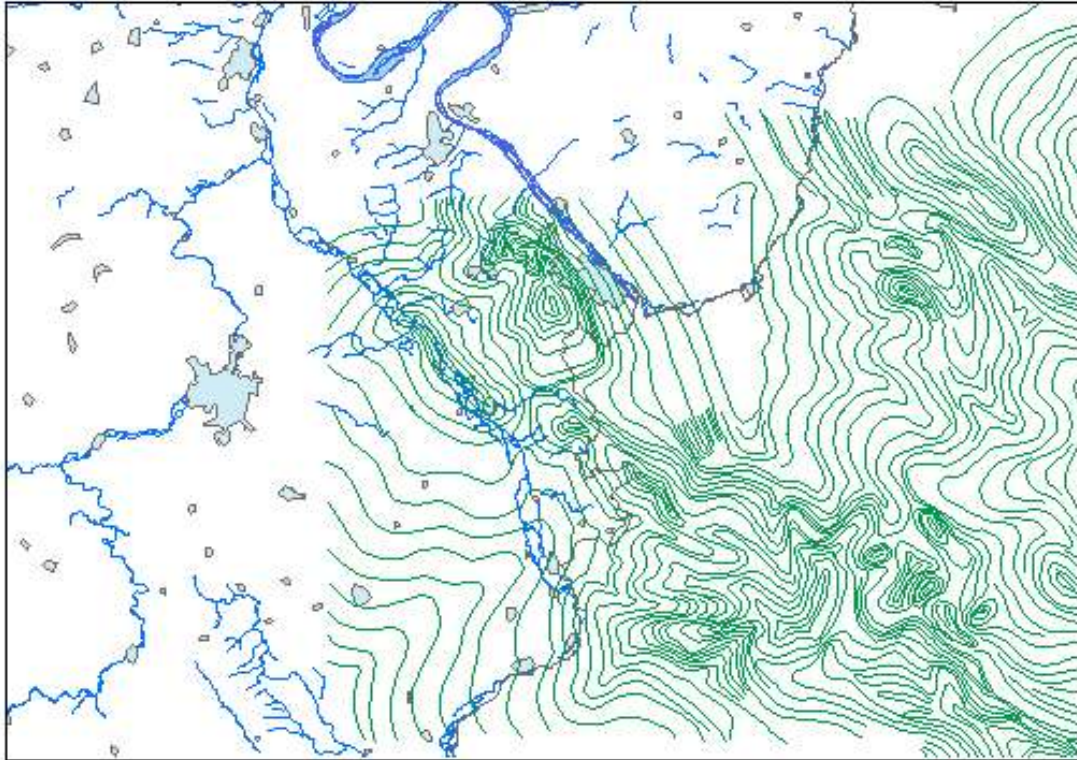


Fig. 8 - Allure des isohypses du toit des calcaires lutétiens dans le département de l'Eure (harmonisée avec les départements voisins)

- Les **Sables de Beauchamp** et les **Sables de Mortefontaine**. Ils sont discontinus, peu épais (0 à 10 mètres). Les premiers sont fins, grisâtres, localement grésifiés et azoïques. Les seconds admettent des intercalations gréseuses et carbonatées, parfois fossilifères.
- Le **Calcaire de St-Ouen**, représenté par un mince niveau (4 à 6 mètres) de marnes et de calcaires lithographiques blanc à jaunâtre, localement silicifiés. Il est parfois surmonté par un niveau discontinu de sables fins jaunâtres : Les **Sables de Cresnes**.
- Le **Calcaire de Septeuil** et son équivalent le **Calcaire de Champigny**, brun, lithographique, peu épais (5 mètres) marque l'Eocène supérieur (Ludien).

Cette dernière formation est d'âge Eocène supérieur, tandis que les trois précédentes représentent l'Eocène moyen.

4.2.4. L'imperméable "stampien" (Oligocène inférieur : faciès Sannoisien)

Il coiffe le système aquifère éocène, qu'il sépare des **Sables de Lozère** et/ou des **Sables de Fontainebleau**.

Il s'agit de la formation de l'**Argile verte de Romainville**, qui forme un bon repère dans la succession des terrains, localement désigné par les termes **Argile verte**, **Marne verte**, ou **Glaise verte**. Ce sont des marnes vertes, blanches ou mauves, kaoliniques le plus souvent, d'une épaisseur de 5 à 7 mètres.

Elles sont surmontées par le **Calcaire de Brie**, compact, à nombreux lits marneux, fréquemment "Meulièrement", en blocs emballés dans une gangue de marnes blanche à rougeâtre.

Ces faciès sont très anecdotiques dans l'Eure et se développent surtout en Ile-de-France.

4.2.5. Les Sables de Fontainebleau aquifères (Oligocène inférieur)

Ils ne sont présents que très localement de part et d'autre de la vallée de l'Iton. Ils remplissent des cavités karstiques jalonnant un axe approximativement méridien à l'est d'Evreux. Ce sont des sables fins, blanc à rougeâtre, bien classés. Ils sont attribués à l'Oligocène inférieur par simple analogie de faciès. Leur âge réel pourrait être différent. A l'est du département, notamment dans la région de Mantes-la-Jolie, les **Sables de Fontainebleau** coiffent toute une série de buttes oligocènes, et referment une nappe suspendue, exploitée pour l'alimentation des villages alentours.

4.2.6. Les Sables de Lozère

Autrefois attribués au Miocène inférieur (Burdigalien), ils sont aujourd'hui considérés pliocènes. Ils matérialisent un large "couloir fluvial Loire/Seine", situé approximativement de part et d'autre de l'actuel cours de la Seine.

Ils forment des placages de quelques mètres d'épaisseur ou remplissent des dépressions et poches karstiques, parfois sur 15 à 20 mètres.

Les dépôts les plus continus ont été préservés entre les vallées de la Seine et de l'Eure, dans un triangle délimité grossièrement par Mantes-la-Jolie, Louviers et Evreux. Quelques reliques de très faible extension existent latéralement, vers Les Andelys au NE et vers Le Neubourg, Elbeuf et même Pont-Audemer au NW l'ouest.

Ce sont des sables hétérométriques fins à grossiers, à quartz anguleux emballés dans une matrice argileuse ferrugineuse kaolinique ou smectitique. Ils sont le plus souvent remaniés en couches discontinues : lentilles de sables plus ou moins grossières, couches argileuses versicolores. Ils peuvent renfermer des fragments granitiques signant leur origine du Massif Central.

4.3. LES FORMATIONS SUPERFICIELLES, D'AGE PLIO-QUATERNAIRE A ACTUEL

Les plus importantes par leur étendue sont l'Argile à silex, les limons de plateau et les alluvions des vallées principales.

4.3.1. L'Argile à silex

Il s'agit d'une appellation comprehensive, qui rassemble les produits de l'altération de la craie élaborés à des périodes différentes allant de la fin du Crétacé au Quaternaire. L'ensemble forme un manteau quasi-continu masquant la craie, d'épaisseur très variable, comprise entre 0 et 30 mètres. Elle est souvent plus forte au droit des paléo dépressions de la craie.

Dans l'emprise du département, cinq faciès principaux d'Argile à silex sont recensés, dont la répartition est matérialisée sur la carte de la fig. 8. Ils sont décrits, du plus ancien au plus récent :

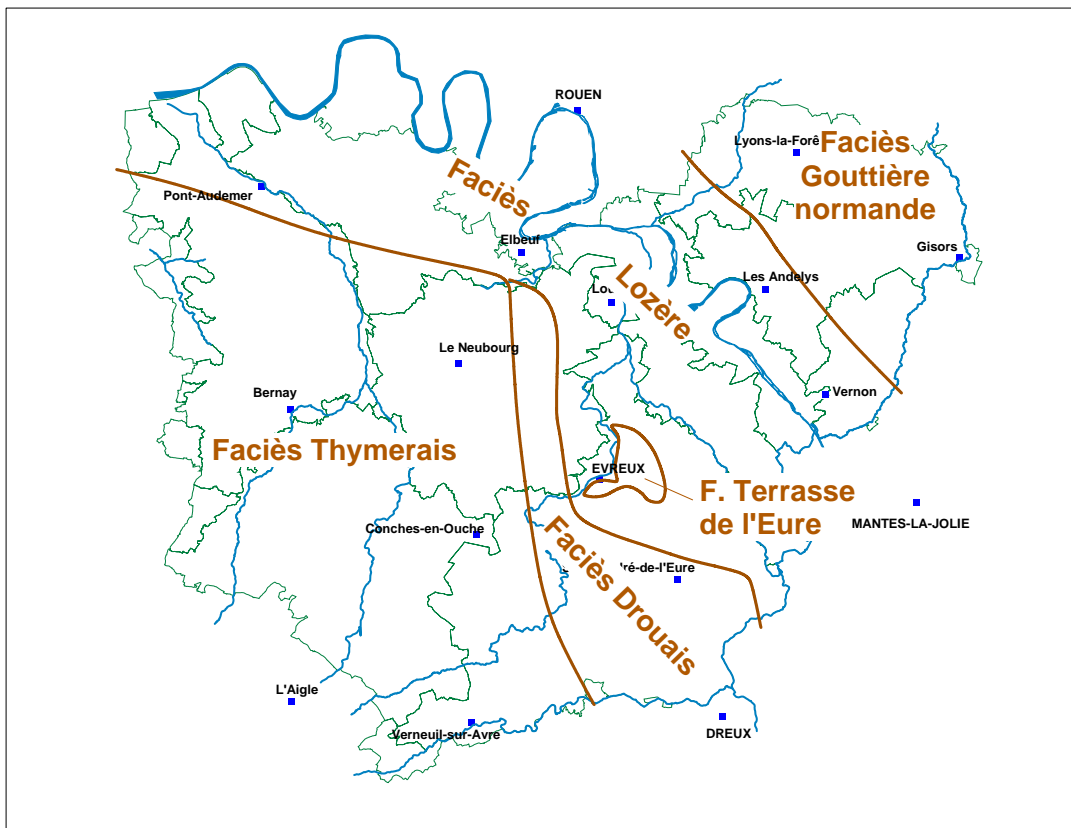


Fig. 9 - Répartition des différentes typologies d'Argiles à Silex sur le département

a) Le faciès Thymerais

Il recouvre les plateaux de la moitié occidentale du département, dans le Lieuvin, le Pays d'Ouche, le sud du Roumois, ainsi que dans la partie occidentale du Neubourg et le SW du plateau de Saint-André-de-l'Eure. Il affecte essentiellement des craies d'âge Cénomaniens à Santonien.

A l'est, il est franchement séparé du faciès *Drouais* par un talus morphologique. Au nord, la limite très nette avec le faciès *Lozère* se situe à l'aplomb de la flexure WNW-ESE de la vallée de l'Oison.

Il est caractérisé par un profil vertical relativement constant régionalement :

- la matrice argileuse, majoritairement kaolinique s'enrichit en interstratifiés kaolinite-smectite en base de profil. Sombre, brun à gris noir ou parfois verdâtre à la base, elle s'éclaircit et devient marbrée en partie médiane, puis rougeâtre au sommet,
- la proportion de silex augmente avec la profondeur. Elle est de 39 à 53% dans les 10 premiers mètres, où leur couleur dominante est le gris plus ou moins clair. Entre 10 et 15 mètres elle est de 60 à 70%. Elle atteint 90% en dessous de 15 mètres. Les silex sont majoritairement bruns, ocre et miel.

Son épaisseur maximale atteint 20 mètres dans une bande méridienne allant de Verneuil-sur-Avre au Neubourg. Dans le NE du Lieuvin, de part et d'autre de la faille de Cormeilles - Pont-Authou, elle se réduit à moins de 5 mètres.

Différents arguments (âge des silex, relations géométriques avec les autres formations, ...) conduisent à considérer que ce faciès s'est constitué aux dépens du substratum crayeux pendant tout ou partie du Tertiaire. Son évolution s'est poursuivie au Plio-quatenaire essentiellement en relation avec les vallées et en liaison avec les phénomènes karstiques.

b) Le faciès Drouais

Il s'agit de l'extension vers le nord d'un faciès nettement plus développé dans la région de Dreux. Il occupe la partie centrale du Plateau de St-André-de-l'Eure et se prolonge en une étroite bande méridienne dans le Neubourg, limitée au nord par la vallée de l'Oison.

Il contient en moyenne 50% de silex peu ou pas altérés, gris à noir. La matrice est argileuse, généralement brun-rouge, à smectite et interstratifiés irréguliers dominants.

Ce faciès s'est développé aux dépens de la craie, dans une zone à couverture de **Sables de Fontainebleau** quasi-certaine. Il est donc post Oligocène inférieur, et probablement Plio-quatenaire.

Son épaisseur est en moyenne de 5 mètres, mais peut atteindre 10 à 15 mètres dans les remplissages de poches karstiques.

c) Le faciès Lozère

Il ne doit pas être confondu avec les Sables de Lozère, formation fluviatile pliocène (cf. ci-dessus).

Ces altérites, développées aux dépens des craies d'âge Turonien à Campanien, occupent une large bande NW-SE, encadrant la vallée de la Seine.

La limite avec le faciès *thymerais* est nette, guidée par un trait structural (Cf. ci-dessus). Le passage aux autres faciès est progressif.

La teneur en silex est relativement constante régionalement, comprise entre 44 et 47%. Ce sont principalement des silex gris, très rarement bruns. La matrice est le plus souvent argilo-limoneuse, de teinte rouge à brun-rouge, légèrement dominée par la kaolinite.

Ce faciès s'est développé sous couverture des **Sables de Lozère normands** essentiellement en liaison avec les phénomènes karstiques, à partir du Pliocène supérieur.

Sa puissance, voisine de 10 mètres dans le Roumois, diminue vers l'est et le SE. Elle est inférieure à 5 mètres dans le Vexin Normand, le plateau de Saint-André-de-l'Eure et le Neubourg.

d) Le faciès Gouttière normande – Talou

Il caractérise les régions nord-orientales : Pays de Lyons, Vexin normand et NE du Vexin bossu. Il affecte les craies d'âge Turonien à Campanien à des altitudes comprises entre 40 à 250 mètres. Son épaisseur moyenne est de 4 mètres, pouvant atteindre 8 mètres.

Les silex y sont en proportion homogène (42 à 45%), tant latéralement que verticalement dans le profil. Ils sont gris à noirs, peu ou pas altérés. La matrice est silto-argileuse, dominée par les interstratifiés kaolinite-smectite et notamment, en base de profil, par la smectite.

Ce faciès, relativement peu évolué, est vraisemblablement d'âge entièrement quaternaire, c'est-à-dire pénécotemporain ou légèrement postérieur au faciès *Lozère*. Il apparaît s'être initié sous la couverture des sables paléocènes encore présente au moins partiellement.

e) Le faciès Terrasse de la Seine et de l'Eure

C'est le faciès le plus récent, d'âge pléistocène moyen à supérieur. Il n'est préservé que de manière très discontinue, sous les alluvions des hautes terrasses alluviales de la Seine (entre 30 et 50 mètres d'altitude) et de l'Eure (entre 80 et 120 mètres d'altitude). Son épaisseur est réduite (0,5 à 5 mètres).

Les silex, en proportion inférieure à 60%, sont gris, peu ou pas altérés. Ils sont emballés dans une matrice argilo-silteuse ocre-rouge à brune.

Les faciès signalent aussi que le processus d'altération pourrit et n'est pas un phénomène facile.

f) Les variations d'épaisseur

Elles sont illustrées par une carte d'iso-épaisseurs (isopaques) lissées à échelle 1/100 000, présentée en planche hors-texte n°3.

Les données utilisées ont été fournies par F. Quesnel (1997, figure III-17). Elles proviennent de courbes iso valeurs manuelles, digitalisées ensuite par points, ces derniers ayant servis à l'élaboration finale d'une grille d'altimétrie régulière.

Si l'on représente les opaques sous forme d'une simple krigeage des données, on obtient une carte (fig. 10) qui traduit plus concrètement la très forte hétérogénéité des épaisseurs mais reste peu lisible pour des échelles de 1/100 000.

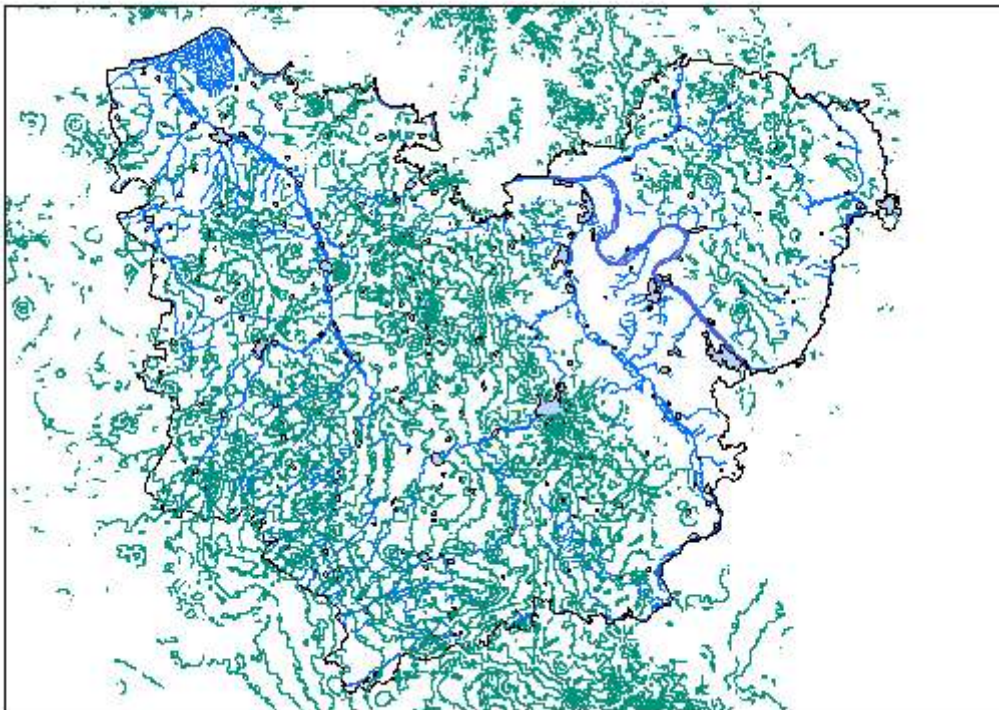


Fig. 10 - Isopaques des argiles à silex après simple krigeage des données ponctuelles

Les isovaleurs présentées en planche hors-texte n°3 ont été redessinées de manière automatique à partir de la grille mentionnée ci-dessus, fournie par F. Quesnel. Aucun traitement géostatistique n'a été effectué.

L'examen de cette carte appelle les deux commentaires principaux suivants :

Les épaisseurs les plus fortes, comprises entre 15 et 30 mètres, correspondent strictement à l'aire d'extension du *faciès Thymerais*. Le maxima de puissance, qui dépasse 30 mètres, se répartit selon une zone marquée de part et d'autre de la limite entre le Pays d'Ouche et le Plateau de St-André-de-l'Eure, entre Verneuil-sur-Avre au sud et Conches-en-Ouche au nord. Il convient de rappeler que ce faciès est le plus ancien, et qu'il apparaît *a priori* logique que son épaisseur soit ici plus importante que celle des faciès plus récents qui ont bénéficié de moins de temps pour se développer.

La limite entre le *faciès Thymerais* et le *faciès Drouais*, qui suit une direction subméridienne au sud d'Elbeuf, est marquée par une variation très brutale des épaisseurs. Selon F.Quesnel (1997), cela correspond à l'existence d'un talus morphologique.

D'autres faits moins saillants apparaissent :

- l'existence d'une zone de léger épaissement du *faciès Lozère* (> 12.5 mètres), au cœur du Plateau de Saint-André-de-l'Eure, entre Evreux et Saint-André-de-l'Eure,
- la présence, dans le Nord du Roumois, d'un entablement approximativement isopaque d'épaisseur décimétrique d'altérites à *faciès Lozère*,
- l'existence, dans l'aire d'extension des altérites anciennes à *faciès Thymerais*, d'une zone de fort amincissement avec des épaisseurs inférieures à 5 mètres, à proximité de la structure anticlinale liée à la faille de Corneilles – Pont-Authou, dans le NE du Lieuvin.

4.3.2. Les limons des plateaux

D'âge quaternaire, ils regroupent un ensemble de matériaux finement sableux et argileux, principalement loessiques diversement transformés par l'altération météorique et la pédogénèse. Ils forment le support fertile des grandes zones de culture. Leur épaisseur reconnue en sondage est variable, mais n'excède que rarement 10 mètres. Elle a été cartographiée avec les argiles à silex.

4.3.3. Les alluvions

L'âge des alluvions va de l'actuel à l'Holocène et au Wéchsélien. Ces alluvions tapissent les fonds de toutes les vallées principales, où elles abritent des ressources en eau exploitables ("nappes d'accompagnement").

Leur épaisseur est très variable le long des cours d'eau, parfois réduite à quelques mètres mais pouvant atteindre 25 mètres, notamment dans la vallée de la Seine.

Les alluvions du dernier épisode glaciaire (Wéchsélien) sont le plus souvent grossières, à galets et blocs, tandis que celles de l'Holocène sont plutôt sableuses et

surtout sablo-argileuses. Les alluvions actuelles, susceptibles de remanier les plus anciennes, restent généralement fines et peu développées.

D'autres formations superficielles mineures

Elles ont été répertoriées lors des levés géologiques, mais ne couvrent que des superficies très limitées. Ce sont, pour mémoire :

- Les terrasses discontinues d'alluvions anciennes, formant des reliques étagées sur les versants des vallées principales,

Les colluvions diverses, nappant principalement les flancs de vallées.

Bien que mal connu, leur rôle hydrogéologique a été considéré comme mineur, en raison de leur faible extension latérale, de leur morcellement et de leur variabilité lithologique. Cette généralité vraisemblable à l'échelle du département n'est pas applicable sans précautions à l'échelle d'une petite zone où leur rôle pourrait se révéler plus sensible (faisant un écran imperméable ou au contraire une couverture perméable sans réel frein à l'infiltration selon les faciès).

4.4. LE CONTEXTE STRUCTURAL

4.4.1. Structuration de la Craie

La tectonique du Crétacé supérieur, relativement calme, est limitée au développement temporaire de haut-fonds très localisés, en bordure nord du département (rides de Lillebonne, de Rouen et du Bray). Les déformations affectant la série de la craie résultent pour l'essentiel des mouvements du Tertiaire.

Les différentes assises de la craie sont donc structurées solidairement, d'où la similitude des morphologies apparaissant sur les cartes structurales du mur de la craie, du toit du Cénomaniens et du toit du Turonien.

La base de la craie est la surface prise arbitrairement comme référence pour la présentation des déformations actuelles du bâti crayeux. Compte tenu des faibles variations d'épaisseur du Cénomaniens et du Turonien, les structures visibles au toit du Cénomaniens et le toit du Turonien sont très proches tant en orientation qu'en morphologie, à celles caractérisant la base de la Craie. Elles ne seront donc que très brièvement commentées.

L'ensemble des cartes structurales a été élaboré en prenant en compte les logs de forages disponibles (fig. 1), les profils de sismique pétrolière accessibles (fig. 2), les données topographiques lues sur les cartes géologiques à 1/50000, et les informations géologiques et structurales des notices de ces cartes. Les courbes isohypses ont été dessinées automatiquement à partir des données actuellement disponibles de forages, puis corrigées manuellement pour tenir compte des autres types d'informations. Les courbes finales présentées (planche N°2 à 4 et figures n° 6 à 8) ont été harmonisées avec les départements voisins et lissées.

4.4.2. Structure du mur de la craie

La carte structurale au mur de la craie, à échelle 1/100 000, est présentée dans la planche hors-texte n°1. Les indications altimétriques qui y figurent, ainsi que celles du commentaire ci-dessous, sont rapportées au Nivellement Général de la France (cotes NGF). Les courbes isohypses principales sont espacées de 50 mètres et celles intermédiaires à intervalle de 10 mètres.

a) Généralités

La surface inférieure de la craie plonge faiblement (pente légèrement supérieure à 4/°) du SW vers le NE. L'altitude, maximale au SW (+ 160 mètres), s'abaisse jusqu'à - 260 mètres au NE.

Ce monoclinial régional est structuré par une succession d'ondulations synclinales, anticlinales et de flexures, d'axes approximativement parallèles WNW-ESE à NNW-SSE.

L'accident de la Seine est l'accident le plus important (par sa longueur et son rejet) signalé dans l'emprise du département. Les failles véritablement observées sont peu nombreuses. Cependant, les formations superficielles masquent vraisemblablement nombre d'accidents mineurs, dont certains peuvent être parfois indirectement supposés à partir d'anomalies topographiques, lithologiques ou hydrologiques.

b) Les structures souples : axes anticlinaux, axes synclinaux et flexures

Leurs directions sont sub-parallèles, NW-SE à NNW-SSE. Elles sont généralement jalonnées de cuvettes ou de dômes. Du SW vers le NE sont distinguées :

- l'ondulation synclinale de Piencourt – Bernay – Verneuil-sur-Avre, d'axe NNW-SSE. Elle comporte deux cuvettes de profondeurs inégales. Au droit de la plus profonde (Verneuil-sur-Avre), le mur de la craie descend en dessous de la côte - 40 mètres. Dans la cuvette secondaire de Bernay, moins marquée, ce niveau se situe aux environs de la cote + 40 mètres. Au nord de Bernay, l'axe s'incurve vers le NW, et une nouvelle cuvette s'amorce au droit de Piencourt ;
- la faille de Courtonne-Les-Deux-Eglises de direction WNW-ESE, complique localement la structure à l'est de Bernay. Le compartiment sud, affaissé au plus de 20 mètres (Kuntz G. et coll. 1985), est occupé par l'axe synclinal mineur W-E de Saint-Germain-en-Campagne, raccordé à l'axe principal au sud de Bernay. Le compartiment nord est occupé par le petit anticlinal de Le Planquay, d'axe parallèle à la faille ;
- l'ondulation anticlinale de St-Pierre-de-Cormeilles – Plasnes – Droisy. Son axe, NW-SE entre Droisy et Plasnes, prend une direction WNW-ESE entre Plasnes et St-Pierre-de-Cormeilles. Deux dômes jalonnent son tracé. Au SE, Les Essarts, où la base de la craie culmine à la côte + 90 mètres. Le dôme de Saint-Pierre-de-Cormeilles, au NW, est moins marqué (culmination du mur de la craie vers la côte + 80 mètres) ;

- l'ondulation synclinale de Feugerolles – Pont-Authou – Quillebeuf-sur-Seine. Au nord, s'amorce la large cuvette de Quillebeuf-sur-Seine, d'axe NNW-SSE, où le mur de la craie descend jusqu'à la côte - 50 mètres. Au SE de Pont-Authou, c'est un simple sillon d'axe WNW-ESE, qui s'atténue en direction de Feugerolles. Dans la partie médiane de son tracé, entre Calleville et Monfort-sur-Risle, la structure devient dissymétrique. Son flanc ouest, plus pentu, correspond au passage de la flexure de la Risle, qui s'incurve ensuite en direction de Pont-Audemer ;
- le dôme anticlinal du Roumois possède une morphologie en boomerang, avec une culmination à l'aplomb des communes de St-Pierre-du-Bosguerard et Bosguerard-de-Marcouville : mur de la craie à la côte + 170 mètres. La direction de l'axe est NNW-SSE dans la branche septentrionale. Elle s'incurve vers l'WNW-ESE dans la branche méridionale, où la structure devient dissymétrique, flexurale, avec un flanc nord relativement pentu (pendages de 15°) et un flanc sud plus doux ;
- cette dissymétrie flexurale se situe à l'aplomb d'une structure faillée profonde. D'après des documents pétroliers anciens (campagnes Evreux, FROPEX1957/1958), la faille, désignée accident du Roumois, affecte les assises du Jurassique, avec un abaissement voisin de 100 mètres du compartiment nord, qui s'accroît d'ouest en est. Elle est décelée dans le Lias, le toit du Dogger et l'Oxfordien. Le flanc sud est jalonné par un anticlinal dissymétrique étroit et allongé, d'axe parallèle à la faille, et présentant au moins deux culminations. Il reste possible que la craie soit affectée de failles jusqu'en surface mais aucune donnée sur le plateau ne permet de l'affirmer ;
- le synclinal de l'Eure, relativement pincé, légèrement sinueux, d'axe globalement NNW-SSE. Au sud d'Authueil-Authouillet, l'Eure coule exactement à son aplomb, sur plus de 25 km, jusqu'à Garennes-sur-Eure ;
- deux profondes cuvettes le jalonnent. Celle de St-Pierre-du-Vauvray au NW, où le mur de la craie s'enfonce jusqu'à la côte - 190 mètres. Une cuvette légèrement plus profonde s'amorce au SE d'Ivry-la-Bataille. Là, la base de la craie passe sous la côte - 200 mètres ;
- l'axe anticlinal Vernon-Rouen, parallèle au synclinal de l'Eure (NNW-SSE). Le flanc SE est affecté par le passage de l'accident de la Seine, tantôt flexural, tantôt cassant.
Cet axe est jalonné par une série de dômes, dont celui de Vernon - Notre-Dame-de-L'Isle, au SE. Le mur de la craie y culmine à une côte voisine de 0 mètre. Le flanc SW est affecté par la faille de la Seine, alors que le pendage du flanc NE est localement accentué par la flexure de La Panilleuse de direction parallèle NNW-SSE ;
- au NW, se dessine la terminaison périclinale du dôme de Rouen. Au droit de la commune de Pitres, en bordure du département, le mur de la craie est situé à la côte - 52 mètres (forage 01006X0008), alors qu'à Rouen même, il culmine aux environs de la côte - 10 mètres ;
- au NE de la vallée de la Seine, existent plusieurs petites ondulations de faible amplitude, d'axes sub-parallèles NW-SE à WNW-ESE relativement proches ;

- l'ondulation synclinale de Guitry – Curville, de direction NW-SE à WNW-ESE. Sa terminaison périclinale SE est affectée par la faille d'Harquency. Au plus profond, en bordure de la faille, le mur de la craie se situe vers la côte –160 mètres ;
- l'ondulation anticlinale d'Ercouis, de direction WNW-ESE, où le mur de la craie culmine vers la côte –130 mètres ;
- l'ondulation synclinale de Coudray – Touffreville, de d'axe WNW-ESE. Dans la cuvette de Coudray, le mur de la craie descend jusqu'à la côte –180 mètres ;
- l'ondulation anticlinale de Lyons-la-Forêt, d'axe WNW-ESE entre Etrepagny et Lyons-la-Forêt devenant NW-SE, en direction de Vascœuil. Au droit des dômes de Lyons-la-Forêt et de Vascœuil, la base de la craie culmine au-dessus de la côte – 40 mètres. Le flanc SW de cet axe est affecté par la flexure d'Etrepagny ;
- l'ondulation synclinale d'Heudicourt – Le Tronquay, de direction NW-SE. Il prend la forme d'un thalweg où le mur de la craie s'élève du SE (- 160 mètres) vers le NW (-80 mètres).

c) Les failles

La fracturation observée à l'affleurement est de faible densité. Seul un petit nombre de failles sont reportées sur les cartes géologiques à 1/50 000. Cependant, la prise en compte de certains traits morphologiques ou d'alignements de cavités karstiques par exemple, conduisent les auteurs de certaines cartes (Bernay, Beaumont-le-Roger, Rugles, Breteuil et Saint-André-de-l'Eure) à supposer l'existence de failles mineures masquées sous les formations superficielles. Un schéma structural les intégrant est proposé pour mémoire en fig. 11.

Il reste vraisemblable que des structures plus complexes existent, même si de tailles ou d'ampleurs plus limitées, non décelées à ce jour.

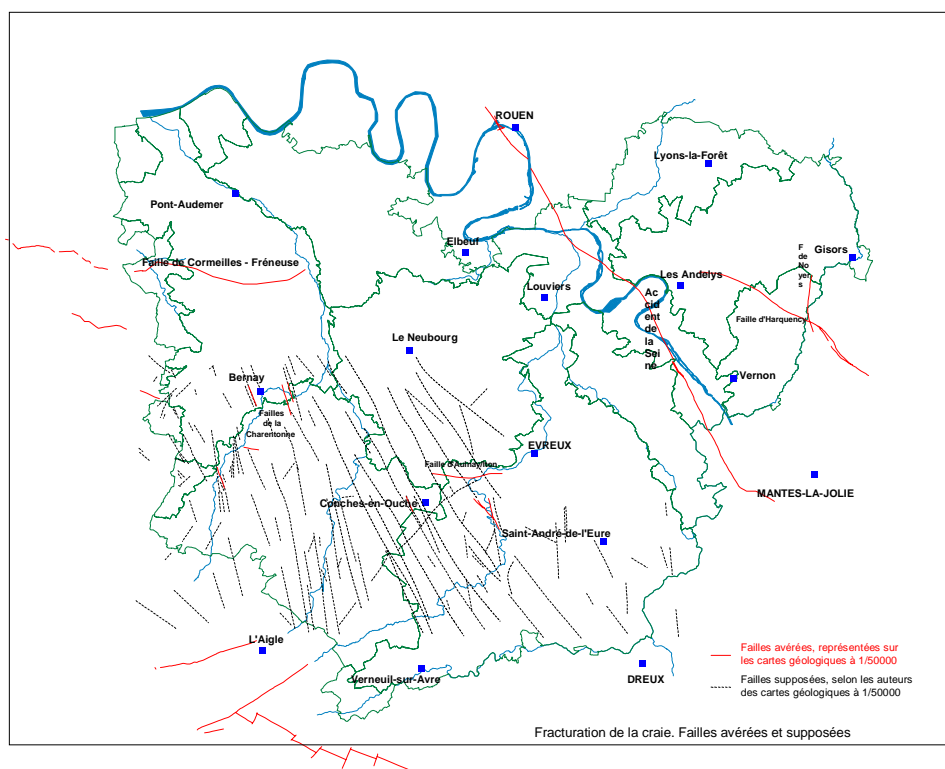


Fig. 11 - Schéma structural du département

Aucun commentaire particulier n'est proposé pour ces failles supposées, compte-tenu du caractère approximatif de leur tracé et de l'absence de données concernant leur rejet éventuel.

Les failles principales, reportées sur les cartes géologiques et prises en compte pour le tracé des cartes structurales présentées sont sommairement décrites ci-dessous.

Le système le plus important est celui de la vallée de la Seine, qui correspond à une structure profonde du socle. Deux autres systèmes décalent de manière significative les couches crétacées : les failles de Cormeilles – Fréneuse-sur-Risle dans la partie NW, et l'accident de Harquency - Château-sur-Epte au NE de la Seine. Quelques petites failles sont également reconnues au sud du Neubourg et au sud du Lieuvin.

- L'accident de la Seine, comme l'indique son nom, suit globalement le cours du fleuve. Il affecte le flanc SW de l'anticlinal de Vernon – Rouen (cf. ci-dessus). Aucun miroir de faille n'est cependant visible, en raison des mauvaises conditions d'affleurement. La direction principale est NNW-SSE, déviée par de courts tronçons NW-SE.

Aux abords de Rouen, l'accident correspond à la faille dite de Rouen, dont le rejet est estimé voisin de 200 mètres. Plus au SE, les rejets sont vraisemblablement moindres et l'existence de forts pendages laissent supposer localement un fonctionnement superficiel en flexure plutôt que cassant. Le flanc SW du dôme de Vernon apparaît faillé, avec un rejet estimé à une trentaine de mètres.

Les données de forages et l'interprétation des profils sismiques révèlent une forte augmentation du rejet avec la profondeur. Ainsi, il apparaît que les zones de flexures repérées en surface dans la craie ou les terrains tertiaires se traduisent, au niveau du Jurassique par exemple, par une structure véritablement faillée de l'accident.

Trois profils sismiques sub-parallèles d'orientation SW-NE (campagne Mantes, ESSOREP 1990), ayant recoupé l'accident de la Seine, illustrent bien son jeu tantôt cassant, tantôt en flexure (fig. 12).

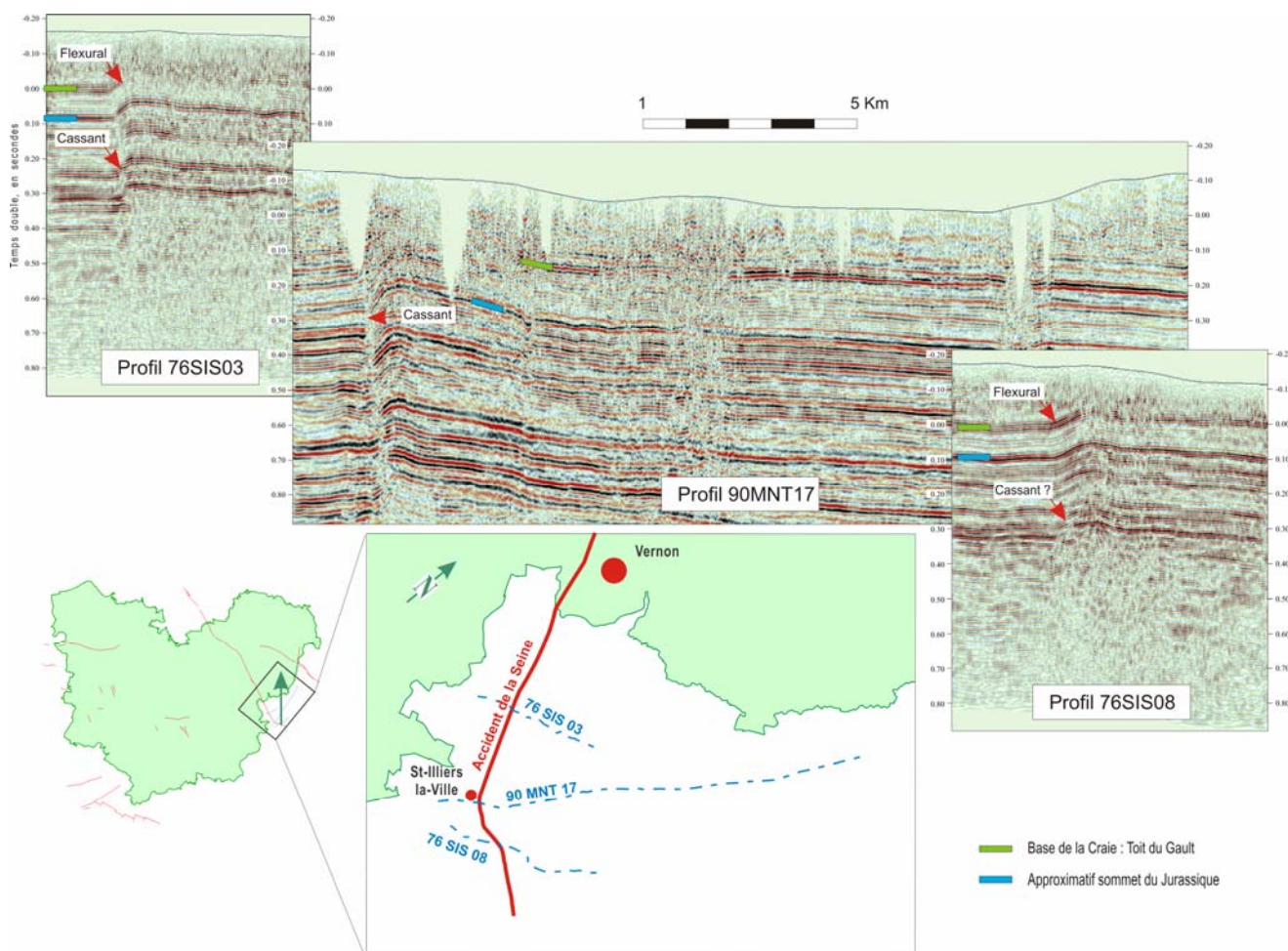


Fig. 12 - Comportement de l'accident de la Seine au voisinage de la structure anticlinale de Saint-Illiers (Profils ESSOREP, 1990)

- La faille de Corneilles – Pont-Authou, au tracé en ligne brisée d'orientation générale ouest-est, qui se prolonge hors du département jusqu'à la côte. Son compartiment sud est abaissé, avec un rejet estimé d'environ 50 mètres. Son compartiment nord est occupé par un gauchissement anticlinal d'axe sommairement E-W, qui fait culminer le mur de la craie à la côte + 130 mètres.

Vers l'est, la faille ne s'étend pas au-delà de la vallée de la Risle, où elle vient butter contre une flexure sub-méridienne qui affaisse le panneau oriental. En aval de Monfort-sur-Risle, cette flexure prend une direction NW-SE jusqu'à Pont-Audemer.

- La faille de Harquency - Château-sur-Epte, dans le Vexin normand et le Vexin bossu, de direction WNW-ESE. Elle fait partie d'un système de failles et de flexures se prolongeant vers le SW, jusqu'aux environs de Banthelu (Val d'Oise).

Le compartiment sud est abaissé, avec un rejet constaté en surface voisin de 20 à 25 mètres, jusqu'aux abords de la faille sub-méridienne de Noyers. Cette dernière, en rive droite de l'Epte, provoque un léger effondrement du compartiment ouest, de 10 à 15 mètres au maximum.

- La faille d'Aulnay-sur-Iton, relativement courte, d'orientation EW dont le rejet est localement estimé à 50 mètres. Le Santonien du compartiment nord abaissé est en contact avec le Coniacien du compartiment sud.

- Les failles de la vallée de la Charentonne, dans la région de Bernay et de Broglie. Elles ont une direction NNW-SSE, et un rejet rarement supérieur à une dizaine de mètres, généralement avec abaissement des compartiments orientaux.

d) Le monoclin central

Sous le Plateau de Saint-André-de-l'Eure et le sud du Neubourg, entre l'anticlinal de Saint-Pierre-de-Cormeilles – Droisy et le synclinal de l'Eure, le mur de la craie plonge assez régulièrement de l'WSW à l'ENE. Cette disposition monoclinale est confirmée par l'interprétation des données sismiques anciennes (campagnes FROPEX 1957/1958) qui révèlent un pendage régulier des couches au niveau de réflecteurs au toit du Lias, dans le Kimméridgien et au toit du Tithonien moyen (ancien toit du Portlandien).

4.4.3. Structures au toit du Cénomanién

La carte structurale au toit du Cénomanién, à échelle 1/100 000, est présentée dans la planche hors-texte n°4.

Par rapport au mur de la craie, le pendage global vers le NE s'accroît légèrement, du fait de la diminution d'épaisseur du Cénomanién du SW au NE. L'altitude du toit du Cénomanién passe de + 230 mètres au SW à - 220 mètres au NE, soit une pente d'environ 4.5°/°.

L'ensemble des ondulations structurales précédemment décrites est conservé. Dans les cuvettes les plus profondes et les dômes les plus accentués, la côte du cénomanién est la suivante, résumée dans le tabl. 1.

		Côte Mètres NGF
Synclinal de Piencourt-Verneuil	Cuvette de Verneuil-sur-Avre	+ 30
	Cuvette de Bernay	+ 100
Anticlinal de St-Pierre-de-Cormeilles-Droisy	Dôme des Essarts	+ 140
	Dôme de St-Pierre-de-Cormeilles	+ 160
Anticlinal du Roumois	Dôme de Saint-Pierre-du-Bosquegard	+ 170
Synclinal de l'Eure	Cuvette de St-Pierre-du-Vauvray	- 160
	Cuvette d'Ivry-la-Bataille	- 130
Anticlinal de Vernon-Rouen	Dôme de Vernon	+ 10
Synclinal de Coudray	Cuvette de Coudray	- 150
Anticlinal de Lyons-la-Forêt	Dôme de Lyons-la-Forêt	- 10
	Dôme de Vascoeuil	- 20

Tabl. 1 - Cotes du toit du Cénomaniens au droit des principales structures

4.4.4. Structure au toit du Turonien

La carte structurale au toit du Turonien, est présentée en fig. 6.

Le pendage global vers le NE diminue légèrement, du fait de l'augmentation d'épaisseur du Cénomaniens du SW au NE. L'altitude du toit du Turonien passe de + 190 mètres au SW à -120 mètres au NE, soit une pente légèrement inférieure à 4°/°.

L'ensemble des ondulations structurales précédemment décrites est conservé. A l'ouest de la limite d'extension du recouvrement sénonien protecteur, le toit du Turonien est partiellement tronqué par les altérations et érosions post-crétacées et directement recouvert par l'**Argile à silex**. C'est le cas également sur une partie du dôme du Roumois. Dans ces zones, les courbes isohypses n'ont pas été tracées, car le Turonien est incomplet.

Là où le Sénonien l'a protégé, le toit du Turonien apparaît structuré de manière très similaire au mur de la Craie et au toit du Cénomaniens. Les structurales précédemment décrites sont conservées. La côte du toit du Turonien au droit des cuvettes et dômes principaux est résumée dans le tabl. 2.

		Côte Mètres NGF
Anticlinal de St-Pierre-de-Cormeilles-Droisy	Dôme des Essarts	+ 190
Anticlinal du Roumois	Dôme de Saint-Pierre-du-Bosquegard	Erodé
Synclinal de l'Eure	Cuvette de St-Pierre-du-Vauvray	- 90
	Cuvette d'Ivry-la-Bataille	- 80
Anticlinal de Vernon-Rouen	Dôme de Vernon	+ 80
Synclinal de Coudray	Cuvette de Coudray	- 60
Anticlinal de Lyons-la-Forêt	Dôme de Lyons-la-Forêt	+ 75
	Dôme de Vascoeuil	+ 75

Tabl. 2 - Cotes du toit du Turonien au droit des principales structures

4.4.5 Structure au mur et au toit du Lutétien.

Les cartes structurales du mur et du toit du Lutétien, à échelle 1/100000, sont présentées respectivement en figures 7 et 8.

Entre Seine et Eure, l'essentiel des terrains lutétiens préservés se situe au droit du synclinal de l'Eure. Une cuvette s'y dessine, à l'aplomb de Douains, au SW de Vernon, où le mur du Lutétien descend jusqu'à la côte + 70 mètres, le toit se trouvant vers la côte + 100 mètres. Au plus haut, dans l'est du Plateau de Madrie, et au SE de Louviers, la base du Lutétien se trouve en dessous de la cote + 150 mètres. C'est dans le Vexin bossu que le toit du Lutétien est le plus élevé, vers la côte +160 mètres, s'abaissant ensuite en direction du NE.

4.4.6 Topographie du toit de la craie sous les formations superficielles

La carte du toit de la craie, à échelle 1/100 000 fait l'objet de la planche hors-texte n°2

Elle a été réalisée à l'aide de 2738 forages ayant atteint le substratum crayeux sous les diverses formations superficielles.

Le toit de la craie est hétérochrone, allant du Cénomaniens au Campanien, en fonction de l'intensité des altérations et érosions post-crétacées. Le plus généralement, la craie est scellée par les différents faciès de l'Argile à Silex élaborés à ses dépens. Dans les vallées principales, elle est le plus souvent directement au contact des alluvions quaternaires.

C'est près de l'embouchure de la Seine que la craie se trouve aux altitudes les plus basses, voisines de - 20 mètres. Dans le SW du département, au contraire, se situent ses points les plus hauts vers + 200 mètres. Au NE de la Seine, dans le Pays de Lyons, le Vexin normand et le Vexin bossu, son altitude varie entre 40 et 130 mètres.

L'existence de dépressions karstiques, caractérisées par une forte épaisseur locale de formations superficielles, est susceptible d'introduire des "effets de pépite" autour des forages les traversant, et peuvent expliquer certaines irrégularités localisées dans le tracé des courbes isohypses.

5. Elaboration des couches piézométriques

5.1. LA METHODOLOGIE

Afin d'obtenir une nouvelle carte piézométrique des niveaux moyens, c'est l'ensemble des points de la "BSS élargie" qui ont été utilisés au départ.

La mesure des points a été effectuée suite à leur inventaire ou lors de leur création, prise à des périodes très diverses. Un relevé synchrone serait en principe préférable, en période de moyennes eaux, mais le coût de l'opération serait disproportionné avec le résultat demandé. En prenant seulement des points existants mesurés dans la même période, la quantité de données aurait été beaucoup trop faible.

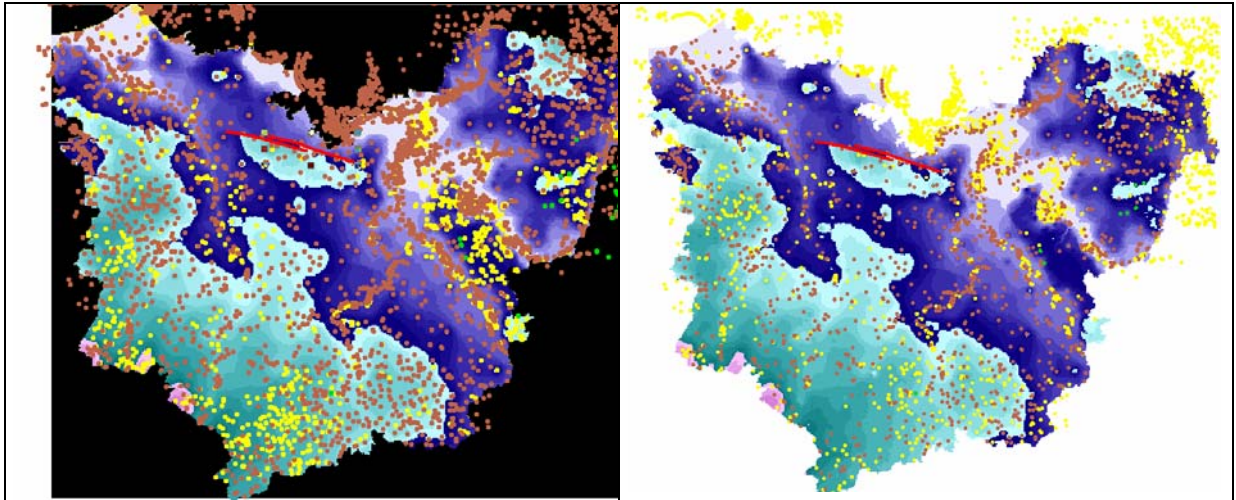
Dans un premier temps, les données ont été caractérisées et corrigées ou enlevées comme décrit dans la suite, afin de retenir seulement les points qui représentent le niveau piézométrique dans l'aquifère de la craie.

La cote du niveau d'eau a été calculée à partir de la profondeur d'eau et les niveaux du MNT (Modèle Numérique de Terrain avec une grille de 50 m, basé sur les cartes topographiques IGN® 1/25000). Ce traitement permet d'éviter des éventuelles erreurs du Z en BSS et d'être cohérent avec les calculs suivants basés en grand partie sur le MNT. L'erreur du MNT peut atteindre jusqu'à 5 m. Cette erreur limite de facto la précision du niveau d'eau dans la même fourchette.

Les points d'eaux qui ont été enlevés du jeu de données sont ceux qui :

- n'ont aucune valeur mesurée (format codé 999.9),
- s'arrêtent au-dessus de la craie (soulignés en jaune),
- ont une valeur de niveau piézométrique incohérente avec le niveau MNT (dossier erroné).

Un deuxième contrôle a été effectué en choisissant les points qui n'ont pas d'information de niveau de la craie ou qui traversent seulement de 10 m la craie (points jaunes, ces points n'atteignent pas forcément l'aquifère de craie). Ainsi, un maximum des points qui correspondraient à une nappe supérieure perchée ont pu être enlevés du fonds de données utilisé pour la piézométrie de la craie. (fig. 13).



**Fig. 13 - Première carte piézométrique des niveaux moyens obtenus
En jaune : points éliminés : Tertiaire, Argiles à Silex...**

Ce sont 4058 points d'eau issus de la base "BSS élargie" qui ont été gardés pour le calcul des niveaux moyens piézométriques.

Plusieurs approches statistiques à partir des points d'eau ont été tentées. Aucune relation directe entre le niveau d'eau et les différents paramètres morphologiques n'a été mise en évidence. Par exemple, une relation entre le niveau d'eau des points et l'altitude des rivières (fig. 14) n'a pas donné un lien, lien qui aurait permis d'ajouter des points virtuels, aux niveaux définis en fonction de niveaux réels de points et de la morphologie locale (densification des points).

Ces recherches de relations statistiques sont discutées dans le chapitre suivant 5.2 (discussion des résultats des marges d'erreurs et d'incertitudes).

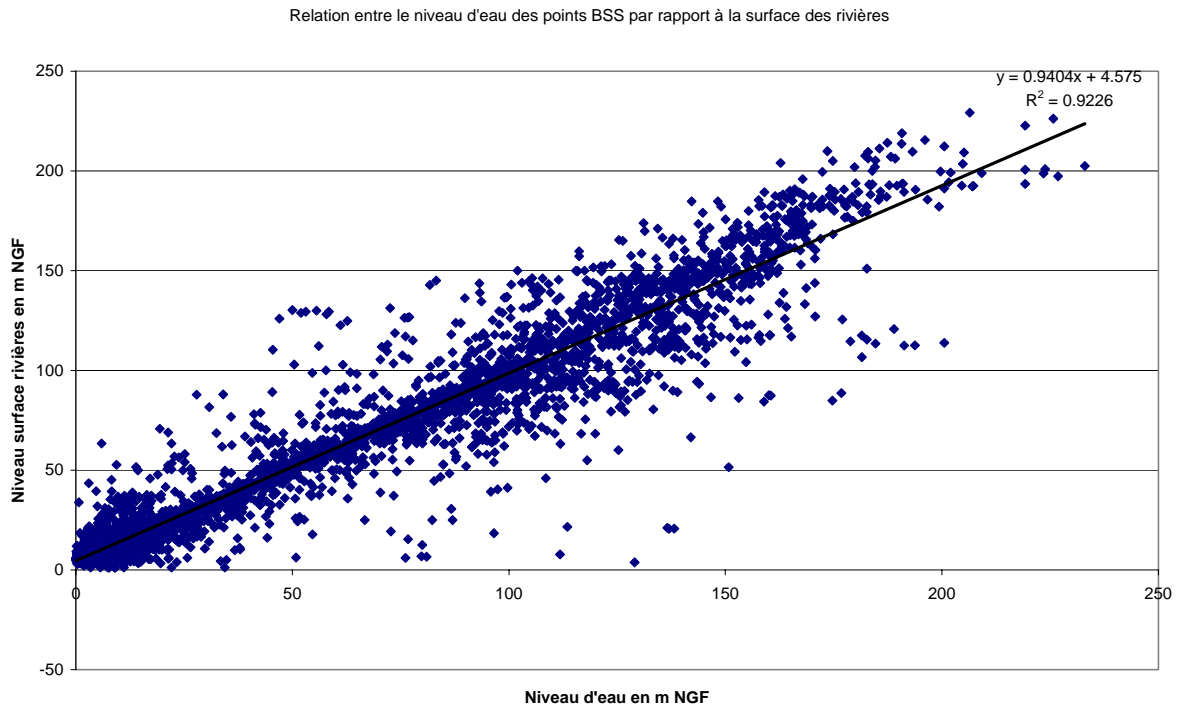


Fig. 14 - Exemple de relation statistique recherchée entre piézométrie et morphologie

Afin d'avoir une bonne distribution de données sur toute la surface du département, des informations complémentaires ont été utilisées (fig. 15), notamment :

- les cartes piézométriques des Atlas hydrogéologiques numériques de l'Eure-et-Loir et de la Seine-Maritime, réalisés respectivement en 2001 et 1998 par la CGG. Ces départements partagent leurs limites départementales avec celui de l'Eure. Ces cartes ont aussi été calculées à partir des données des points d'eau asynchrones. L'ajout de ces points pour l'Eure vise à assurer la cohérence sur les bordures Nord et Est du département Eure avec ces profils antérieurs. Ces données et cartes ont été considérées comme données de références initiales, supposant que leurs valeurs sont cohérentes avec la réalité. 1065 points ont ainsi été ajoutés,
- l'Atlas Hydrogéologique de l'Eure de 1989, dont la carte piézométrique a été vectorisée dans le cadre de cette présente étude. La carte piézométrique a été tracée sur la base de l'inventaire des points d'eau de 1966 à 1973 (effectué par le BRGM et le BURGEAP). Elle a été analysée partiellement : le tracé effectué à l'échelle 1/100 000 peut par endroit se révéler incorrect (niveau piézométrique supérieur à la cote du relief de terrain, notamment dans les vallées et sur certaines pentes). La réutilisation de ces données demande donc au préalable un examen critique. 1323 points ont été ainsi ajoutés.
- enfin, dans les zones où la rivière est en connexion avérée avec l'aquifère, 743 points ont été considérés, pris à la valeur du niveau altimétrique du fonds de vallée moins 2 m. Ces points ont été ajoutés au fur et à mesure pour contraindre les calculs d'interpolations pour la piézométrie à descendre la surface libre de l'aquifère de la craie suffisamment dans les axes de talwegs.

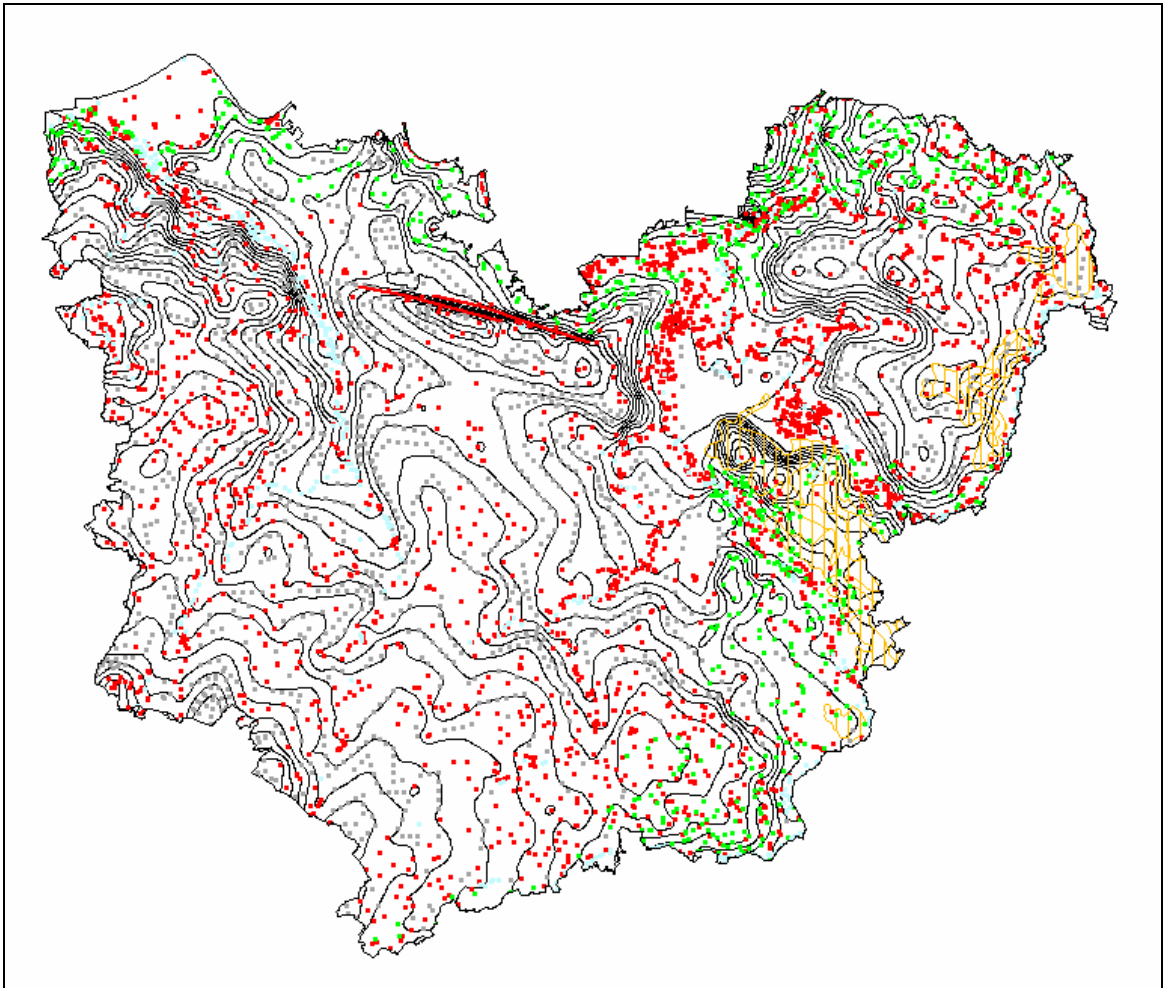


Fig. 15 - Répartition des points d'eau ayant servis à la réalisation de la carte piézométrique des niveaux moyens

Rouge : points d'eau de la "BSS élargie",

Vert : points de densification de la carte piézométrique numérique CGG des départements 76 et 28,

Gris : points de densification de la carte piézométrique de l'Eure 1989,

Bleu : points de densification du niveau des rivières.

Les valeurs moyennes des 72 piézomètres, disposant de plus de 50 mesures depuis leur installation (à différentes périodes) ont servi de points de vérification de la validité de la carte piézométrique obtenue des niveaux moyens.

5.2. CALCUL DE LA CARTE DES NIVEAUX MOYENS ET DISCUSSION DES ERREURS

A partir donc d'un ensemble de 7189 points, une carte piézométrique des niveaux moyens a été réalisée avec la méthode d'interpolation automatique IDW (carré) avec 8 voisins pris en compte. Le krigeage, généralement plus adapté pour des calculs plus adaptés, ne fonctionne guère ici, du fait de la grande variabilité des niveaux d'eau possible sur des courtes distances.

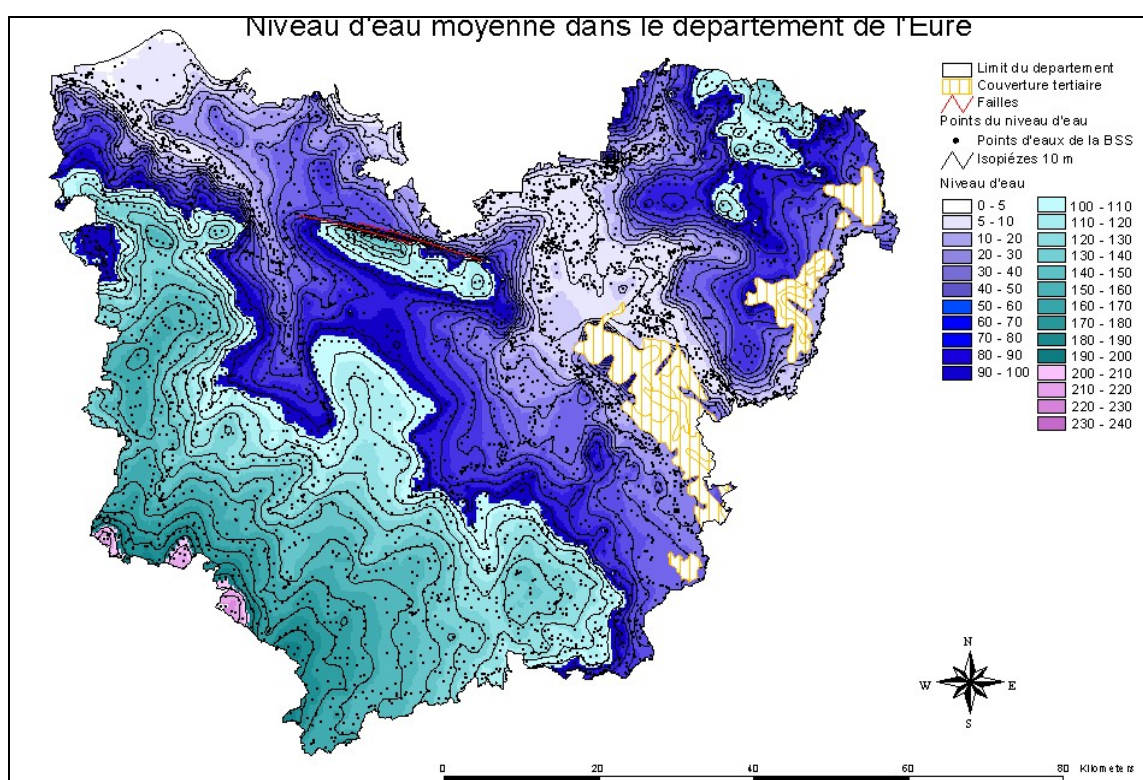


Fig. 16 - Carte piézométrique des niveaux moyens de l'aquifère crayeux dans le département de l'Eure

Le tracé des isopièzes lissés des niveaux moyens de l'aquifère crayeux a été dessiné à l'échelle 1/100 000 sur la planche hors texte n° 6, la fig. 16 n'étant donné qu'à titre d'illustration.

La carte piézométrique des niveaux moyens de la craie (fig. 16 et planche n°6) montre les caractéristiques suivantes :

- L'aquifère de la craie descend des interfluvés sur les plateaux vers les grandes vallées en suivant approximativement la topographie, pour être ensuite drainé par les grandes vallées humides et leurs rivières. Le niveau le plus haut est au sud-

ouest, le pays d'Ouche. La plaine de Neubourg, le Vexin normand et le Roumois sont aussi des dômes au-dessus de 120 m NGF. Au contraire, les vallées de la Seine et de la Risle (aval) sont caractérisées par des niveaux très bas en altitude ;

- Certaines zones à l'est du département présentent au-dessus de la craie une couverture importante du tertiaire et sont indiquées par un masque "couverture tertiaire".

Les formations superficielles (limons du plateau, argiles à silex) ont une épaisseur importante en Pays d'Ouche, qui correspond généralement à une densité importante de réseau de drainage hydraulique.

Les grandes rivières dans leur amont du Pays d'Ouche (Risle, Iton, Avre) sont non connectées avec l'aquifère phréatique :

- la Risle se déconnecte de l'aquifère à partir de Neaufles-Auvergny et puis se reconnecte à hauteur de Beaumont-le-Roger sous forme de grandes sources,
- une grande partie de la vallée du Lême sur le talweg située entre le Risle et l'Iton (qui rejoint en aval la vallée du Rouloir),
- l'Avre jusqu'aux abords amont de Verneuil-sur-Avre.

On note aussi que les cours d'eau peuvent décrocher de la surface du sol et disparaître totalement en souterrain sur plusieurs dizaines de kilomètres, comme l'Iton qui, entre Coulonges et Bonneville-sur-Iton, devient le Sec-Iton. Ce dernier réapparaît en surface en période de hautes eaux.

A hauteur de la flexure faillée de Bourghéroulde-Infreville (Roumois), les niveaux piézométriques sont fortement influencés par cet accident géologique structural (Cf. Atlas hydrogéologique de 1989, BRGM) : les deux failles ont été intégrées comme limites de discontinuités dans l'interpolation. Ce sont les seules discontinuités qui ont été prises en compte. D'autres discontinuités sont observées mais sans pour autant qu'elles influencent de manière connue la surface libre piézométrique.

Le niveau moyen des piézomètres anciens ou actifs des réseaux patrimoniaux a été alors pris pour évaluer la fiabilité de la carte piézométrique des niveaux moyens obtenus par le calcul d'interpolation.

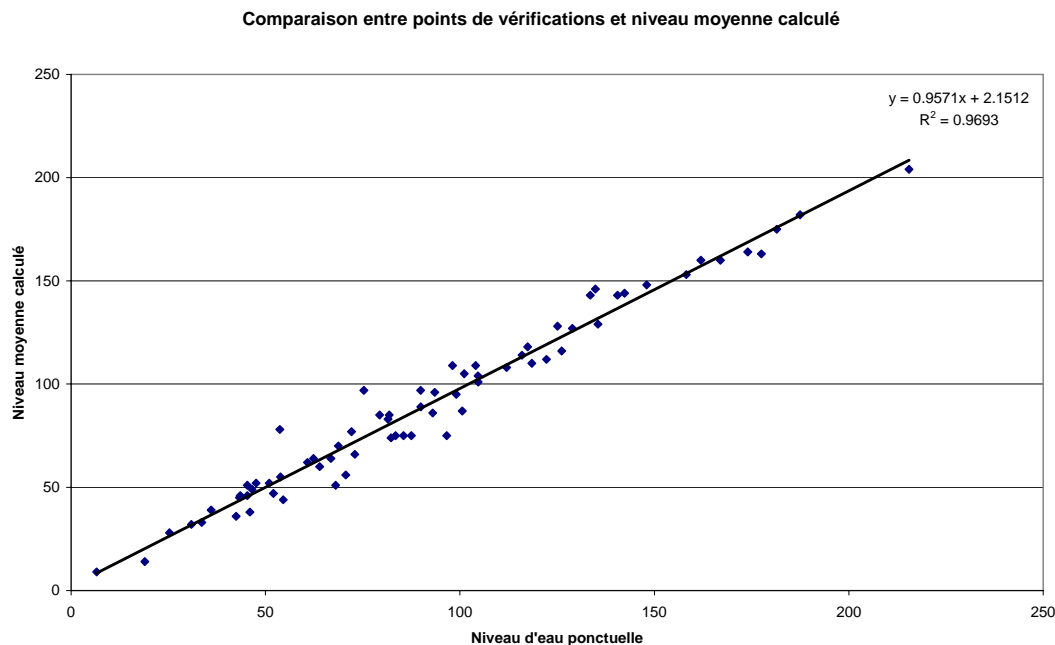


Fig. 17 - Comparaison entre la carte piézométrique interpolées des niveaux moyens obtenue et les niveaux moyens des piézomètres (points de calage)

La comparaison présentée en fig. 17 montre que la carte piézométrique des niveaux moyens de l'aquifère de la craie est, avec le coefficient de détermination $R^2 = 0.97$, globalement très bonne. Les niveaux sont sur les piézomètres en moyenne 1.8 m plus hauts que la carte piézométrique obtenue des niveaux moyens, bien en dessus de l'imprécision sur le MNT.

Sur certains des piézomètres, l'écart dépasse 10 m. Des incohérences ont été observées antérieurement entre le niveau supposé des piézomètres (qui n'ont jamais été nivelés ni géoréférencés de manière très précise par un géomètre) et le niveau MNT appliqué à la localisation supposée du point donné. L'imprécision des coordonnées des piézomètres associés aux incertitudes du MNT constitue vraisemblablement la cause première de ces écarts observés.

Les piézomètres ne couvrent pas de manière régulière tout le département : dans certains zones, on constate une lacune d'ouvrages pour les réseaux piézométriques. Si l'on compare 50 points d'eau ayant servi à l'interpolation avec la carte interpolée elle-même, on obtient une meilleure cohérence du niveau moyen de l'aquifère calculé par interpolation.

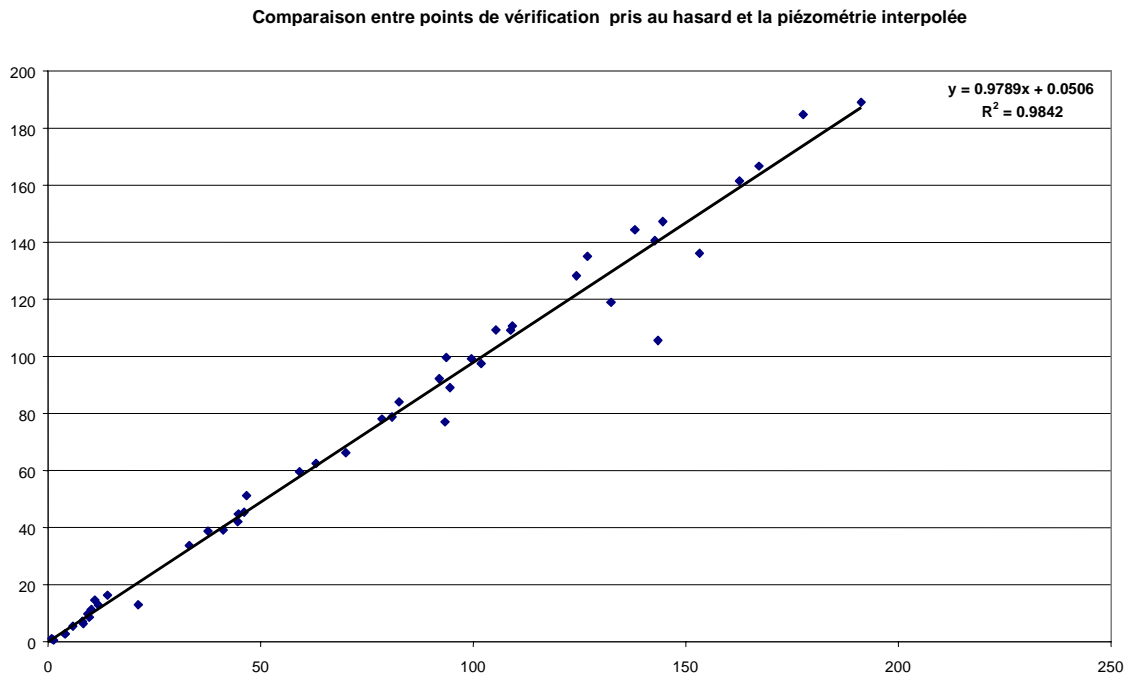


Fig. 18 - Comparaison entre la carte piézométrique interpolée des niveaux moyens obtenus et les niveaux de 50 points d'eau pris au hasard

Cette comparaison montre que le niveau moyen interpolé de l'aquifère est avec le coefficient de détermination $R^2 = 0.98$, très bon. Les points mesurés sont en moyenne 1.4 m plus hauts que l'interpolation piézométrique obtenue. Pour 40 points sur 50, l'écart est à moins de 5 m (soit la précision du MNT). Seuls 4 points sur 50 montrent une différence supérieure à 10 m. On peut en conclure qu'environ 92 % des données sont cohérentes avec la carte piézométrique obtenue des niveaux moyens et qu'environ 8 % ne sont pas représentatifs.

Si l'on élargit l'examen à l'ensemble des points de la BSS (fig. 19 et 20), la moyenne des écarts est de 0.26 cm et la médiane de 0.06 cm. 94 % restent dans la limite des 3 m, limite correspondant à la précision du MNT, 80 % entre -1.4 et + 1.2 m.

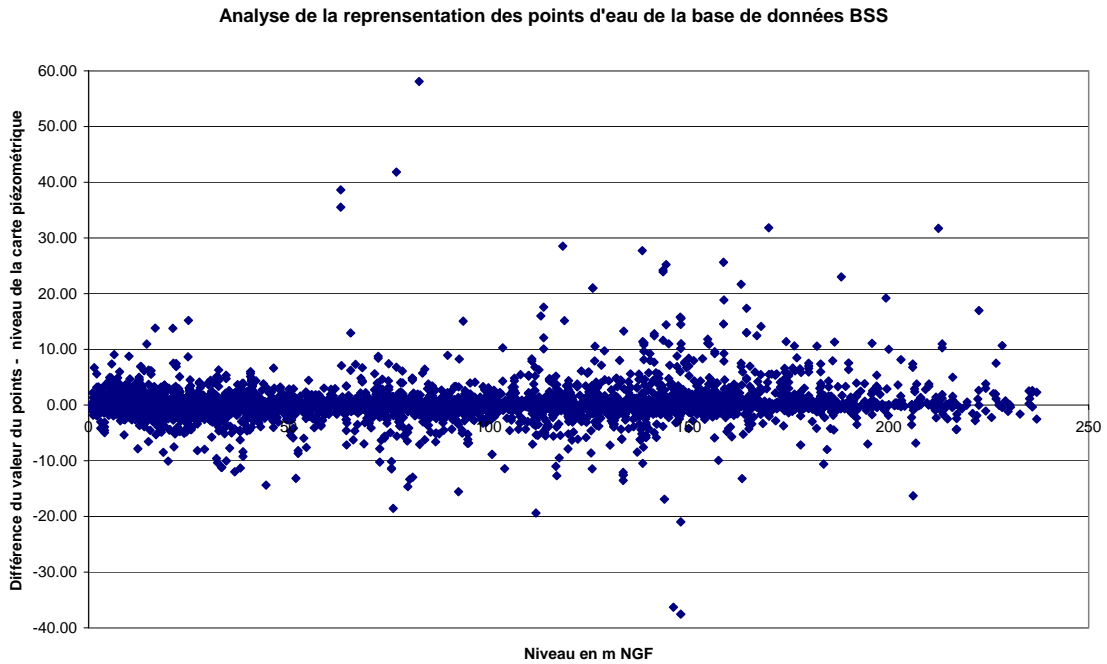


Fig. 19 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique interpolée des niveaux moyens obtenus et l'ensemble des points de la BSS

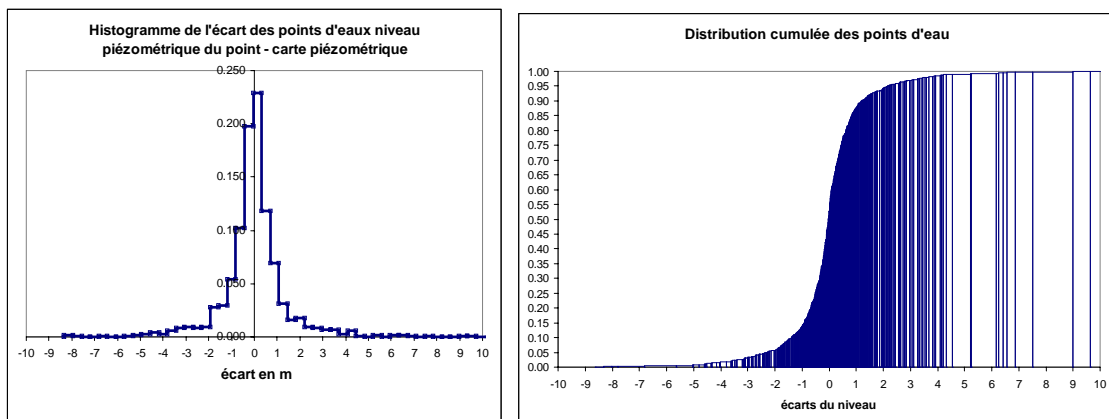


Fig. 20 - Histogramme et distribution cumulée des écarts entre les données de la BSS et l'interpolation obtenue

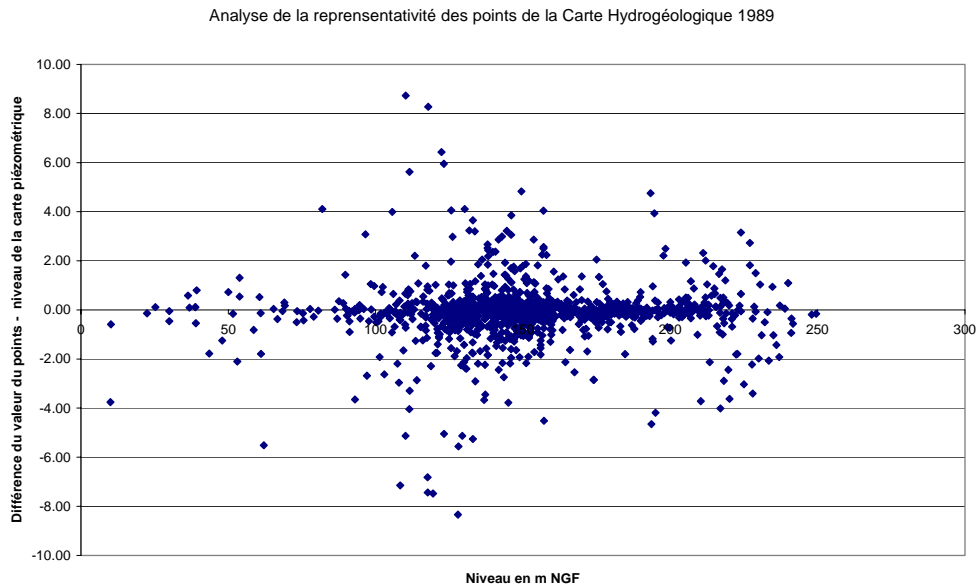


Fig. 21 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points issus de la carte hydrogéologique de l'atlas hydrogéologique de l'Eure de 1989

Les points de densification de provenance des isopièzes de la carte hydrogéologique 1989 représentent très bien la piézométrie (fig. 21), sauf quelques points entre 100 et 150 m NGF, zones où l'on note la présence de nombreuses petites vallées. Elles pourraient engendrer une variabilité locale importante du niveau piézométrique. La moyenne et la médiane d'erreur sont de 0 m, avec un écart en grande partie limité à +/- 2 m, avec des écarts maximaux entre -8 et + 8.7 m.

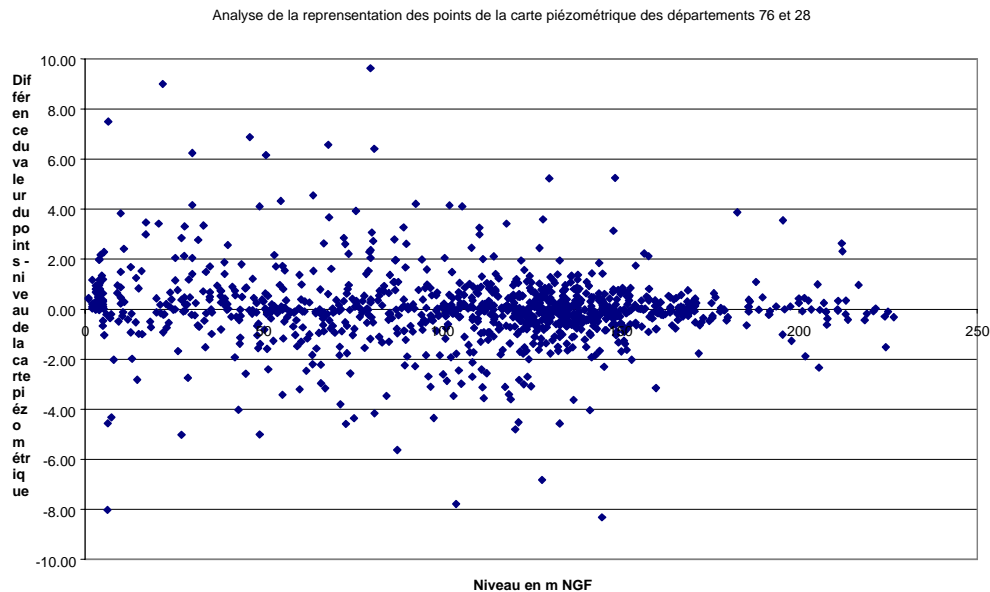


Fig. 22 - Comparaison des niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points issus des cartes piézométriques CGG des départements de la Seine-Maritime et de l'Eure-et-Loir

Les points de densification en provenance des isopièzes des cartes piézométriques CGG des départements de la Seine-Maritime et de l'Eure-et-Loir représentent bien la piézométrie moyenne obtenue (fig. 22), avec des écarts maximaux entre -8 à 10 m. La plupart des points se situent à ± 2 m d'écart, avec une valeur médiane et une moyenne à 0 m.

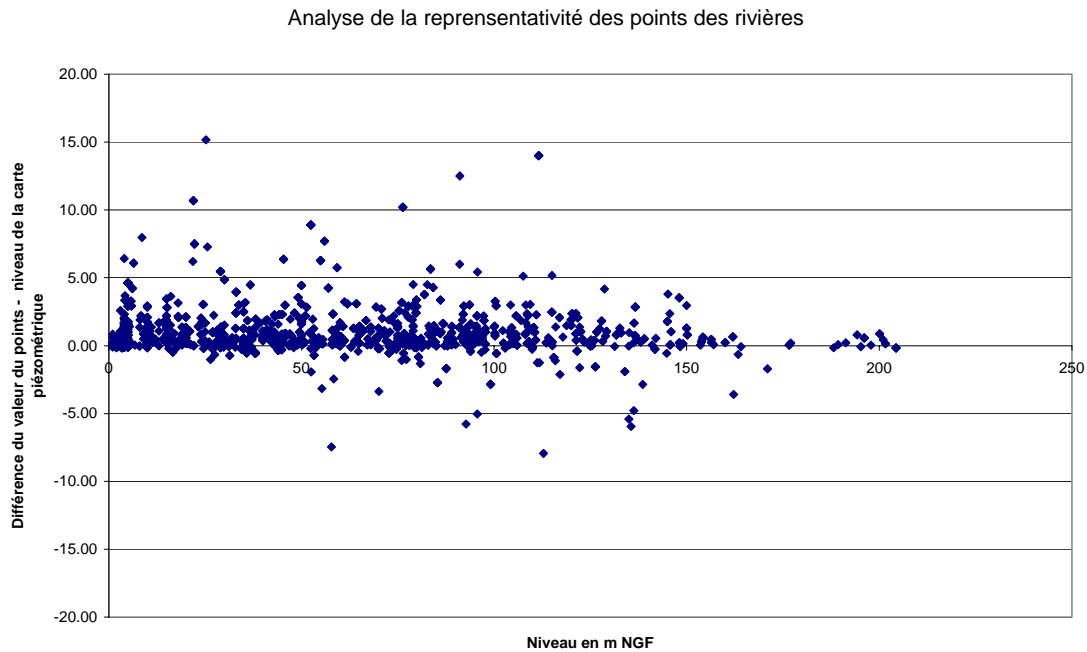


Fig. 23 - Comparaison de niveaux entre la carte piézométrique obtenue et des points de densification pris en fond de vallée humide dans les linéaires où cours d'eau et aquifère de la craie sont interconnectés

Enfin, les points de rivière positionnés dans les vallées entre 0 et 240 m NGF présentent (fig. 23) des écarts maximaux de -7 à 15 m avec une médiane à $+ 0.5$ m et une moyenne à $+ 1$ m. L'écart vient de l'interpolation entre les points de rivières, niveaux les plus bas par rapport aux points sur les flancs et sur les plateaux.

Toutes ces comparaisons montrent clairement que la carte piézométrique obtenue issue d'une interpolation numérique est bien représentative des mesures de niveaux de l'aquifère crayeux, globalement bien en deçà des marges d'erreur.

5.3. COUCHES DEDUITES DE LA PIEZOMETRIE DES NIVEAUX MOYENS

Il s'agit là de cartes d'épaisseur de craie sèche, d'épaisseur de craie mouillée, d'épaisseur de zone non saturée, des relations de niveaux altimétriques entre nappes et rivières et des zones humides potentielles.

5.3.1. Epaisseur de craie saturée ("mouillée")

L'épaisseur de la craie "mouillée" (saturée) est directement déduite par différence du niveau piézométrique moyen et de la cote du mur de la craie. Elle est représentée sur la planche hors texte n° 9 à l'échelle 1/100 000 et rappelée sur la fig. 24.

Cette épaisseur de craie mouillée reste étroitement liée à l'épaisseur de la craie et indirectement à l'épaisseur de la zone non saturée. Il arrive néanmoins que l'épaisseur saturée dépasse l'épaisseur de la craie, lorsque la surface libre de l'aquifère baigne dans les argiles à silex ou même est affleurante.

Au sud du département vers les hauts plateaux de la craie, l'épaisseur saturée augmente jusqu'à 220 m. Le Nord Est du département (Vexin Normand) présente les épaisseurs les plus importantes, avec plus que 250 m de colonne de craie saturée. L'épaisseur de craie saturée est généralement plus faible dans les grandes vallées où la rivière a creusé profondément la craie.

Il faut prendre en compte que cette épaisseur de la craie saturée ne correspond pas directement à l'épaisseur efficace de l'aquifère crayeux. Au-delà de 30 à 50 m d'épaisseur de craie, il est considéré que toutes les fissures sont écrasées par la pression. L'eau souterraine ne s'écoule plus et reste confinée. Ce n'est que dans des zones d'intense fracturation qu'une circulation peut éventuellement perdurer à des profondeurs plus importantes.

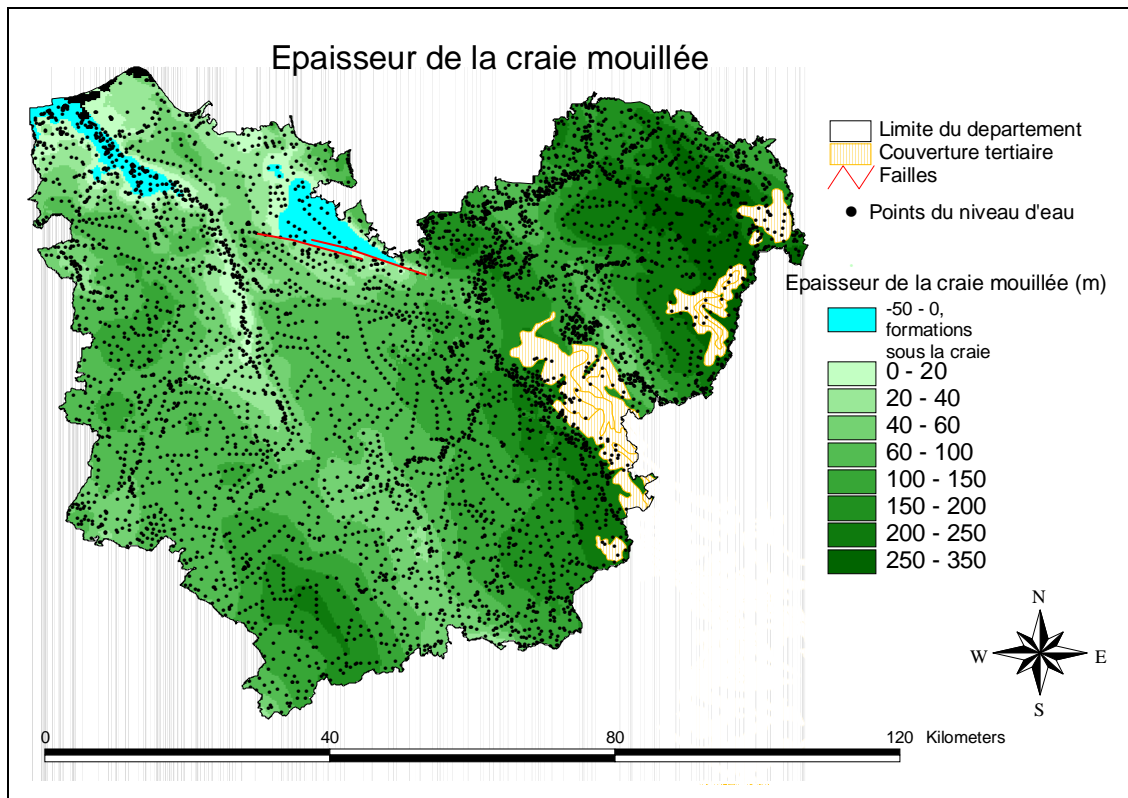


Fig. 24 - Epaisseur de la craie mouillée en situation de niveaux moyens de l'aquifère crayeux

On observe sur les zones bleues de la fig. 24 des “épaisseurs négatives” de craie mouillée en basse vallée du Risle et dans le Roumois.

En basse vallée de la Risle, la craie a été complètement entaillée dans le fonds de vallée mais la craie cénomaniennne altérée et résiduelle des flancs de vallée est grossièrement en continuité hydrogéologique avec les niveaux semi-aquifères des Sables Verts de l'Apto-Albien. Ces niveaux captés ont été assimilés à la craie et n'ont pas été éliminés du jeu de données BSS de la craie.

La zone au nord des failles de Bourghéroulde-Infreville (Roumois) est très peu renseignée par des données, tant pour les données géologiques en BSS (trop rares) que pour les données de niveau d'eau (généralement issues des isopièzes de l'Atlas de 1989). Cette zone où l'épaisseur mouillée est négative sur une grande surface n'est pas représentative de la réalité. La craie n'est totalement entaillée que sur les bordures amont de la vallée de l'Oison. Cette zone traduit en fait des incohérences altimétriques entre le toit SIG de la craie (vraisemblablement plus bas dans la réalité) et la piézométrie obtenue (surface réelle vraisemblablement plus haute sur les flancs de vallées) qui pourraient seulement être corrigées ultérieurement avec des données complémentaires.

5.3.2. Epaisseur de la craie "sèche" (non saturée)

L'épaisseur de la craie sèche est directement déduite du toit de la craie moins la piézométrie des niveaux moyens. Elle est représentée à l'échelle 1/100 000 en planche hors texte n° 10.

L'épaisseur de la craie sèche est parfois importante, jusqu'à plus de 120 m au nord de la plaine de Saint-André-de-l'Eure mais elle peut aussi être nulle.

On observe aussi des "épaisseurs négatives" de craie sèche quand la surface libre de l'aquifère crayeux dépasse le toit de la craie et baigne dans les Argiles à Silex (Pays d'Ouche) ou dans les alluvions des grandes vallées.

5.3.3. Zone Non Saturée

A part les axes de vallées, plusieurs zones importantes montrent (fig. 25) un aquifère crayeux très proche de la surface :

- le plateau du Pays d'Ouche entre le Risle et l'Iton à l'extrémité sud du département,
- la partie amont du bassin versant de la rivière Calonne dans le Lieuvin,
- la rive gauche de la Risle au-dessus de Pont-Audemer, où l'épaisseur de la craie cénomaniennes résiduelle est faible voire parfois nulle,
- le marais Vernier,
- le sud de la plaine de Saint-André-de-l'Eure dans l'amont de la Coudanne.

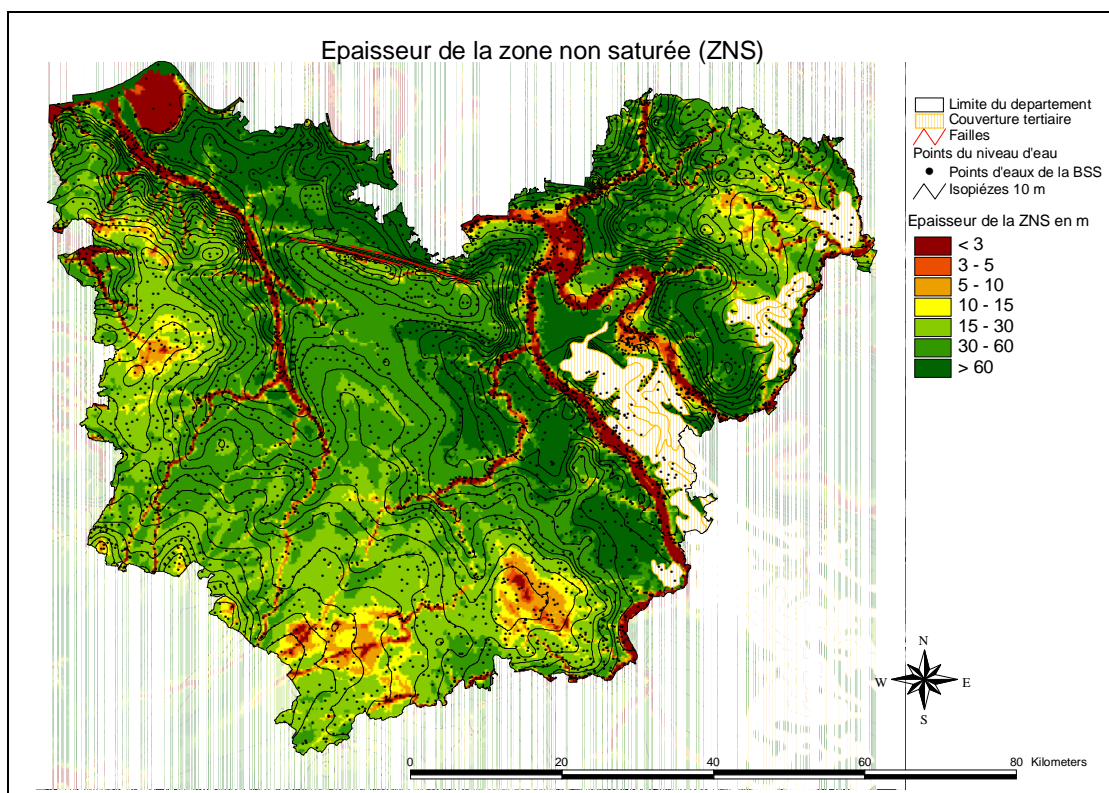


Fig. 25 - Epaisseur de la craie non saturée en situation de niveaux moyens

Les zones où l'aquifère est très profonde, se trouvent surtout :

- sous le plateau du Roumois, entre les rivières Risle et Seine,
- sur les plateaux est de la plaine du Neubourg et au nord-ouest de la plaine de Saint-André-de-l'Eure (en rive gauche et droite de l'Iton aval),
- la partie nord du plateau de Saint-André-de-l'Eure (entre l'Iton et l'Eure),
- la partie ouest du Vexin Normand (rive droite de la Seine).

5.3.4. Aquifère de la craie et relation avec les rivières

A partir des rivières, une surface en 3 dimensions a pu être obtenue, qui décrit une surface imaginaire entre tous les axes de cours d'eaux et talweg. Une comparaison par différence entre cette surface des talwegs et la surface piézométrique des niveaux moyens permet de mettre en évidence (fig. 26) les zones de talweg non drainantes, où les rivières sont vraisemblablement non connectées avec l'aquifère de la craie (en rouge sur la carte) de celles des talwegs drainants, où les rivières sont en connexion hydrologique avec l'aquifère de la craie qui le drainent (en bleu sur la carte).

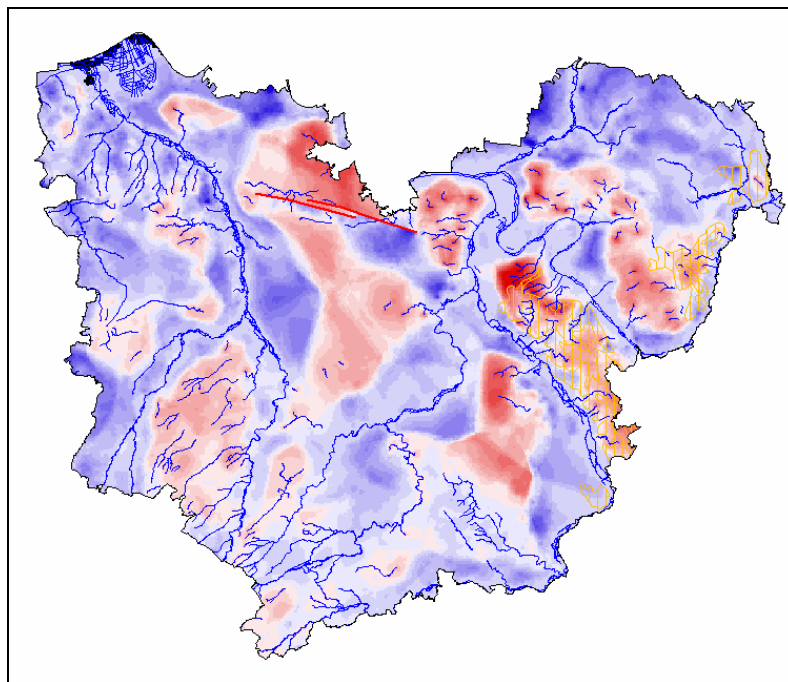


Fig. 26 - Carte des zones de rivières non drainantes (en rouge) probablement non connectées à l'aquifère de la craie et des vallées où l'aquifère crayeux est drainé par les cours d'eau drainants (en bleu)

Pour la plupart des vallées au cœur des plateaux, les ruisseaux sont non pérennes, traduisent l'écoulement temporaire des eaux de ruissellement sur des formations superficielles et ne drainent pas l'aquifère de la craie. Dès que les vallées sont nettement entaillées par la craie, elles drainent l'aquifère.

5.3.5. Relation entre surface piézométrique et géomorphologie

La fig. 27 suivante montre 7 transects tracés dans le sens d'écoulement en partant d'un des plateaux du département de l'Eure, qui aident à comprendre en trois dimensions les relations entre le niveau piézométrique de l'aquifère et la géomorphologie.

La surface piézométrique libre de l'aquifère, soumise à écoulement gravitaire lent, reste très proche du profil morphologique de la surface du sol, mais elle offre une surface beaucoup plus régulière (moins de contraste), avec des pentes beaucoup plus douces que le relief, dont elle atténue les irrégularités. Ce lissage sera d'autant plus marqué si l'aquifère est profond et/ou n'est pas intersecté par une vallée secondaire en amont.

La surface piézométrique reste fondamentalement liée au niveau de base de la vallée à l'aval. Elle s'affranchit fortement en amont des forts contrastes du terrain naturel en amont.

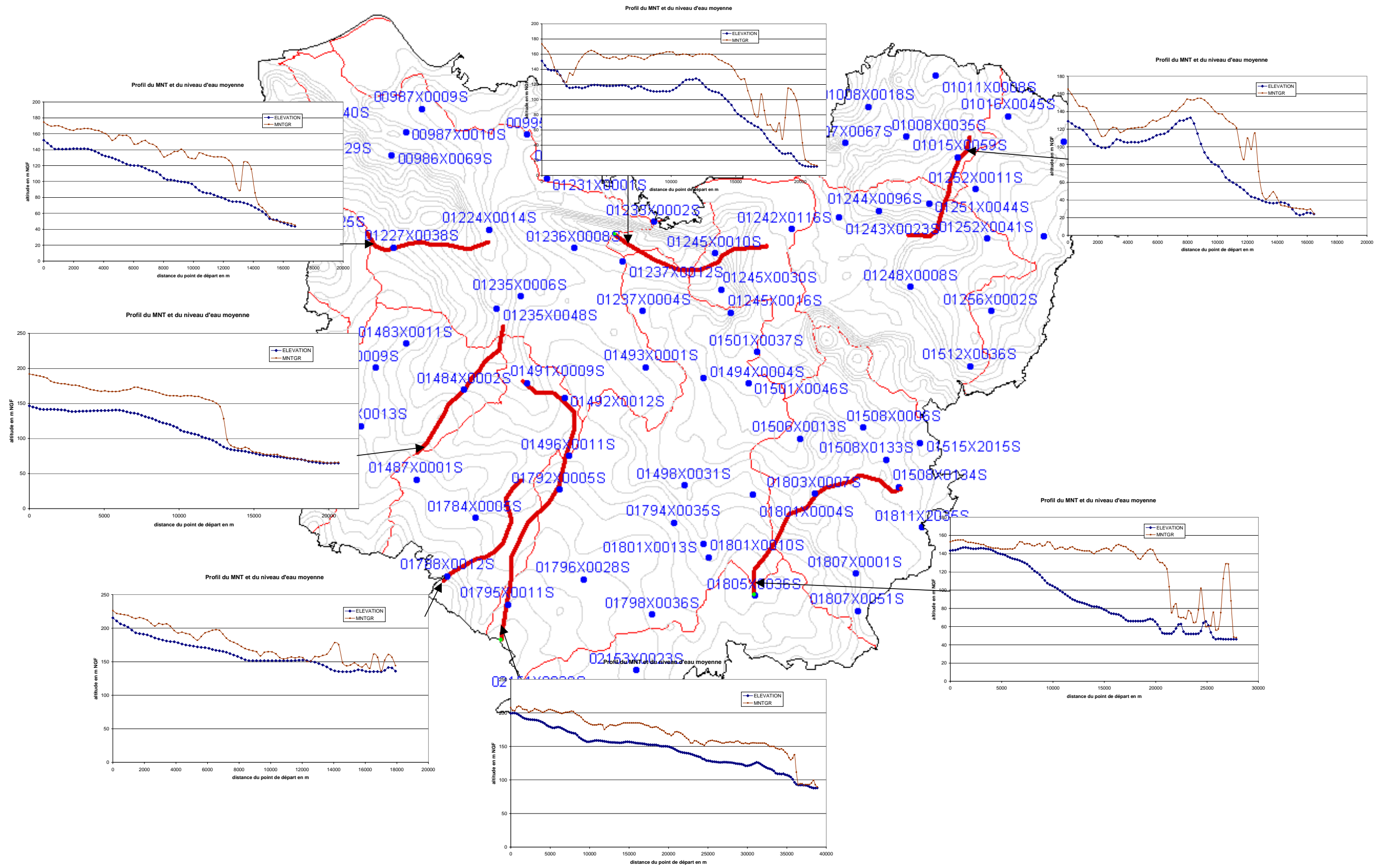


Fig. 27 - Divers transects piézométriques témoignant des relations entre surface piézométrique et relief

5.4. BATTEMENT DE L'AQUIFERE CRAYEUX

Si l'essentiel des points BSS offre une valeur du niveau d'eau, il s'agit presque exclusivement de mesures ponctuelles, le plus souvent uniques ou limitées à 3, 4 mesures sur un intervalle de temps restreint. Il n'est pas possible d'en déduire le battement de l'aquifère. Entre deux points même très proches, le comportement de l'aquifère diffère parfois du tout au tout et il n'est pas possible d'interpoler une valeur de niveau piézométrique d'un point sur un autre point proche pour en déduire une amplitude de battement. De plus, le battement est souvent d'une amplitude inférieure à la marge d'incertitude de 5m sur le niveau altimétrique.

Seuls les piézomètres qui offrent un nombre suffisant de fluctuations permettent d'en déduire un battement moyen.

Une première analyse des piézomètres de la région a permis d'essayer de mettre en relation des paramètres géomorphologiques suivants (graphiques de la fig. 28) au battement. Cet examen statistique montre pour la plupart des piézomètres :

- qu'il existe une relation importante entre le niveau d'eau et le niveau topographique. Des battements de 0 à 20 m peuvent apparaître qu'elles que soient les altitudes entre 0 et 200 m NGF,
- les battements marqués ou faibles peuvent être observés en tous points, quelle que soit la distance à la rivière. Il existe des interfluves (loin des rivières) à faible battement et des coteaux près des vallées avec de forts battements. La distance des piézomètres par rapport aux axes de drainages les plus proches ne semble pas être déterminante pour expliquer les fluctuations de l'aquifère,
- la piézométrie présente des gradients de 0 à 1.5 % pour toutes les altitudes. Les vallées et plateaux sont caractérisés par de faibles gradients, les flancs de versants par des fortes gradients. Les battements réduits entre 0 et 5 m apparaissent surtout dans des zones à faible gradient. Certains battements faibles apparaissent également à fort gradient piézométrique sur les flancs de versants. Les pentes sont plus marquées que les gradients piézométriques et les pentes ne montrent pas non plus de relations évidentes avec les battements moyens,
- la comparaison entre l'épaisseur minimale de la Zone Non Saturée et les fluctuations mettent en évidence que le battement reste, sauf exception, en dessous de 8 m si le niveau d'eau est plus profond que 30 m. Le battement varie en général entre 0 et 20 m, si la profondeur minimale est inférieure à 30 m. Le battement moyen atteint pour le département 7.7 m de moyenne, atteignant 8.30 m pour les zones de profondeur minimale entre 0 et 30 m et 6.1 m pour des profondeurs d'aquifère au-dessus de 30 m. Les comportements des piézomètres en vallée varient très fortement du point de vue battements, selon leur largeur, leur taille et encore leur géologie.

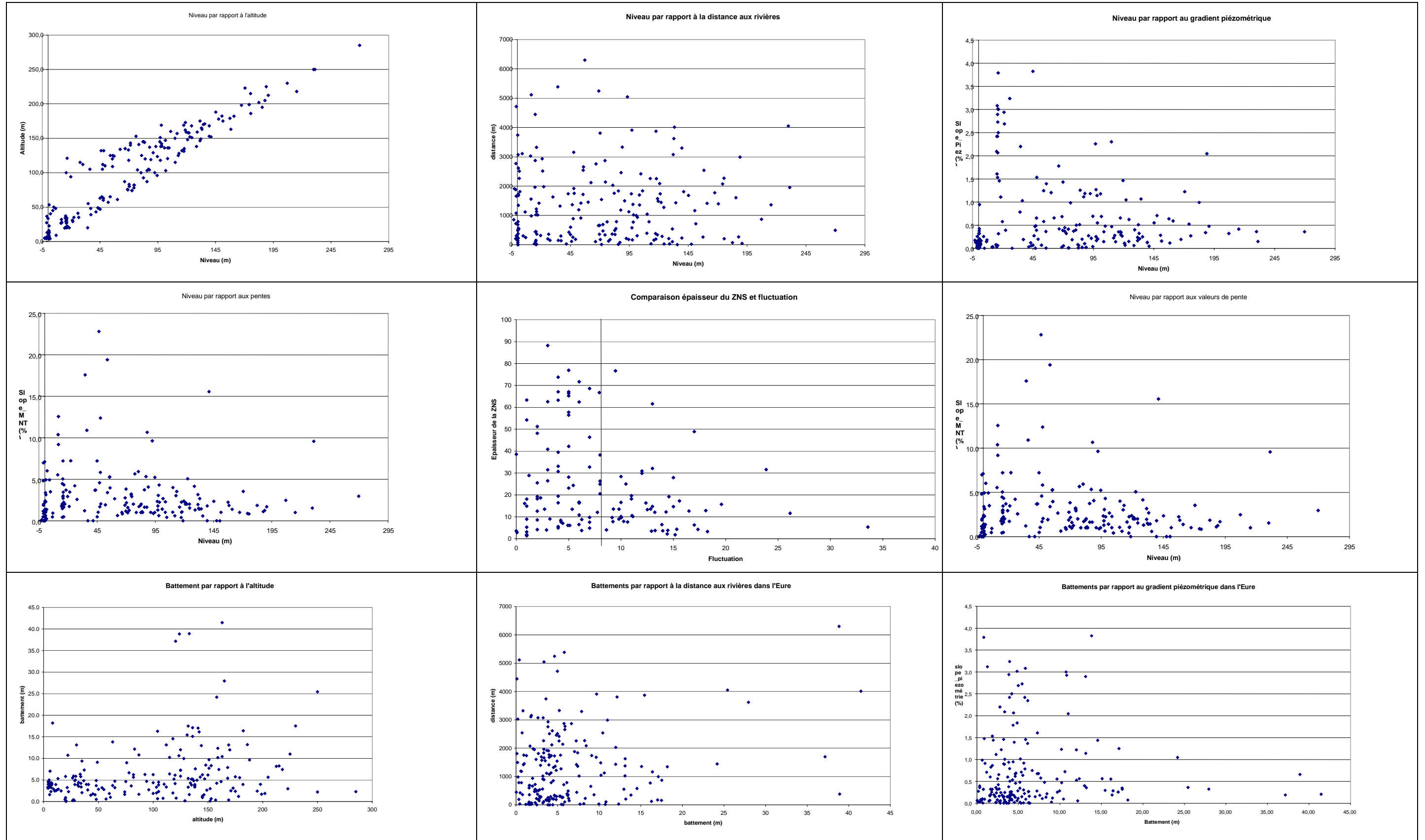


Fig. 28 - Recherche de relation statistique entre différents paramètres morphologiques et le comportement de l'aquifère sur le département de l'Eure

La fig. 29 suivante présente les piézomètres avec leurs fluctuations maximales pour leurs périodes mesurées (graphiques toujours présentés entre 1965 et 2004). Cette approche ne permet pas une comparaison exacte, car les périodes de suivi sont différentes d'un point à l'autre, mais elle permet à défaut une estimation de l'ordre de grandeur des fluctuations.

Les fluctuations varient fortement au sein des piézomètres des plateaux, de même que pour les piézomètres situés en vallées. Ainsi, on peut observer des forts à faibles battements sur les plateaux, de faibles battements au centre des vallées, et des battements sur les flancs de vallées pouvant atteindre 5 m et plus. Aucune conclusion simple expliquant une relation entre le battement de l'aquifère crayeux et un facteur morphologique n'est possible à cette échelle.

Plusieurs observations sur l'évaluation des battements (fig. 29) peuvent être faites :

- dans le SW du département (Pays d'Auge et Pays d'Ouche), une zone semble être caractérisée par des battements très faibles (inférieur à 5 m). Cette zone de faible battement correspond à peu près aux secteurs où l'aquifère baigne dans les argiles à silex,
- les vallées étendues de la Seine, de l'Iton et de l'Eure sont caractérisées par de faibles battements inférieurs à 3 m : ce sont les axes drainants topographiquement les plus bas,
- dans la vallée de la Risle, on observe des variations marquées entre vallées et bordures de vallées : dans le centre de la vallée, les battements sont faibles mais sur les flancs de vallées ou bordure de plateaux, les battements moyens enregistrés sur les piézomètres sont plus marqués, de l'ordre de 5 à 6 mètres.

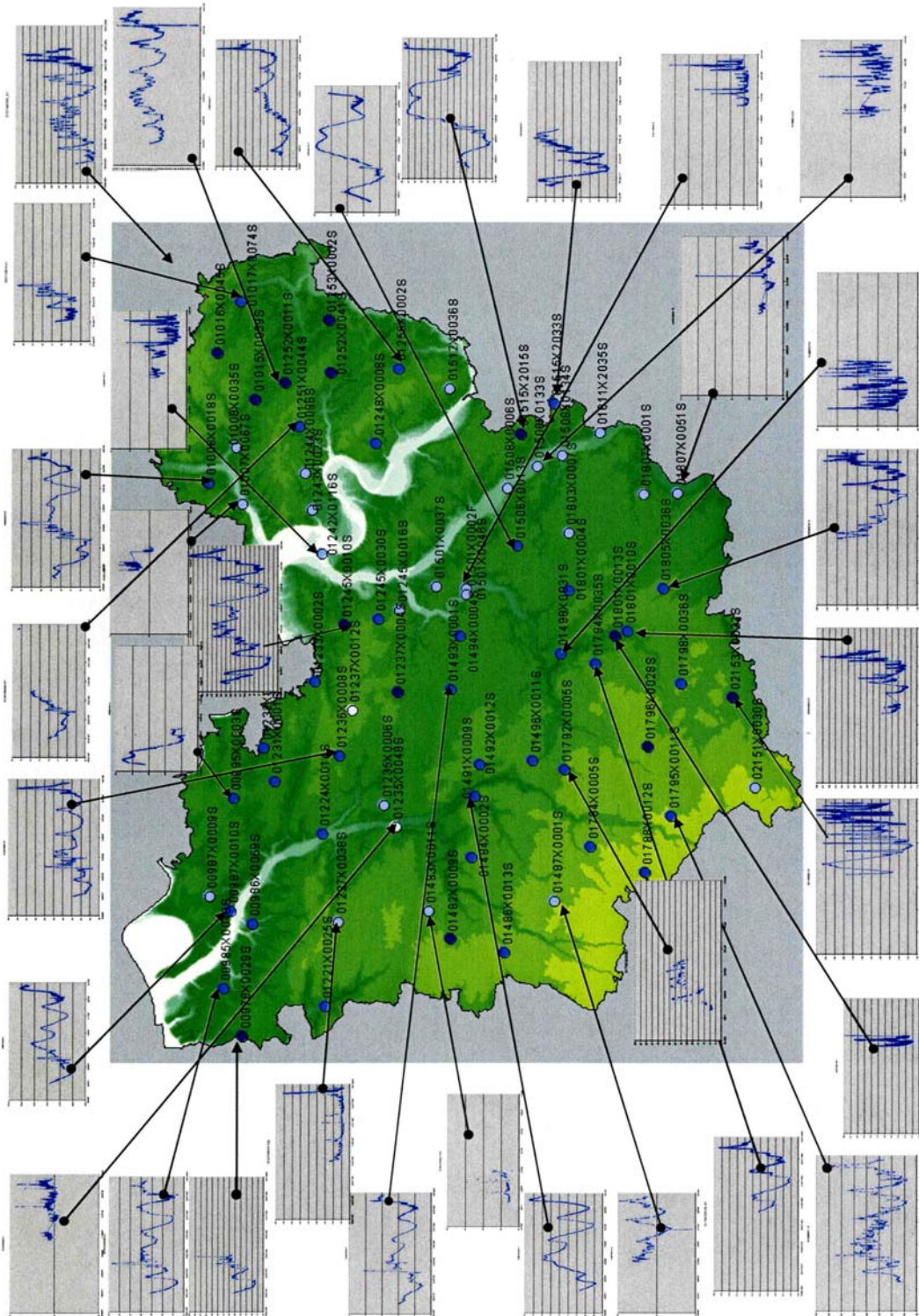


Fig. 29 - Examen des battements moyens sur les différents piézomètres anciens ou actifs

Pastilles bleu-foncé pour les battements forts, pastilles bleu-clair à blanches pour les battements faibles - l'écart entre deux barres horizontales sur l'axe des profondeurs des chroniques piézométriques est toujours égale à 1 m.

5.5. CARTOGRAPHIE DES HAUTES EAUX

La campagne piézométrique réalisée en 2001 du fait des niveaux exceptionnels de très hautes eaux (rapport BRGM/RP-51153-FR) constitue le cœur des données utilisées pour la piézométrie de très hautes eaux. Afin d'étoffer ce jeu initial, d'autres sources de données ont été utilisées pour augmenter la densité des données. Les hautes eaux sont au final présentées par des profondeurs connues par :

- la campagne de mesures des hautes eaux en 2001 (180 points),
- des points de la BSS des années de hautes eaux (ceux > 75 % de l'amplitude maximale moyenne), notamment lors des années 1967/1968, 1982/1983 et 2000/2001 (133 points),
- dans une zone où très peu de points représentent les hautes eaux, des points ayant de 60 à 75 % de l'amplitude maximale moyenne ont été ajoutés (51 points),
- des sources pérennes et non pérennes en contact avec l'aquifère, actives pendant la période de hautes eaux (200 points),
- les niveaux les plus hauts connus des ouvrages piézométriques disponibles.

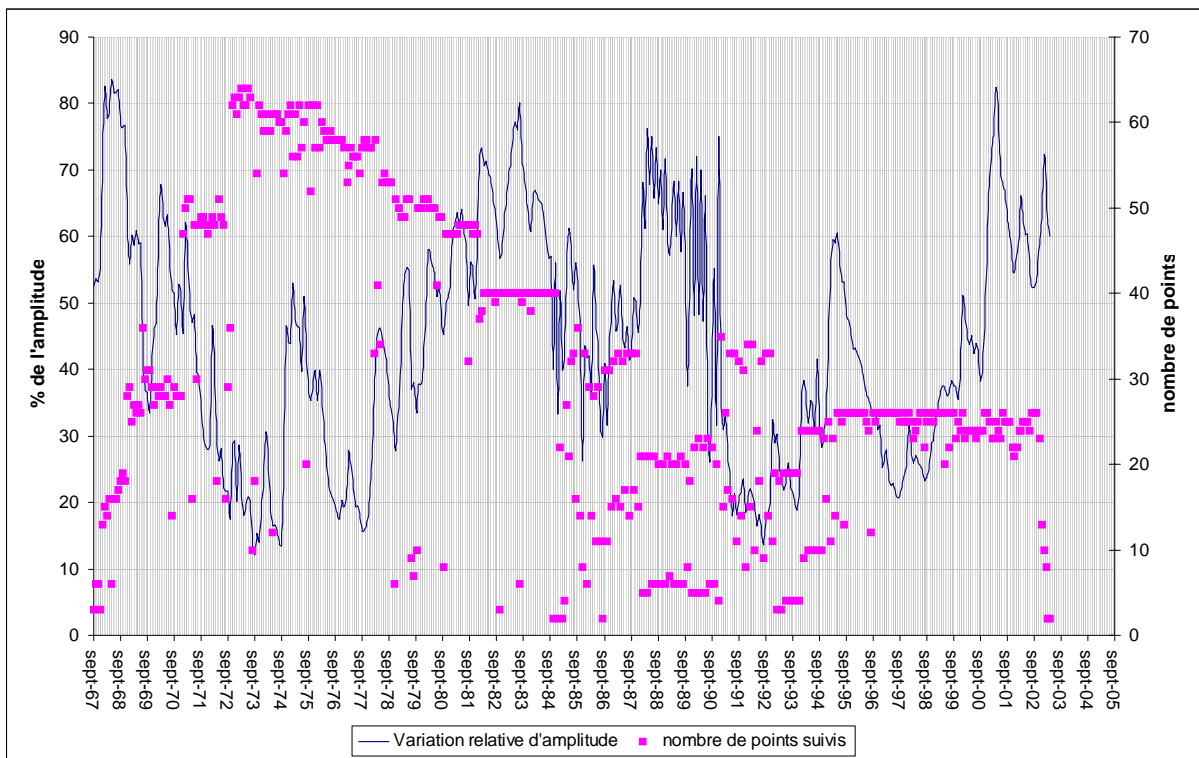


Fig. 30 - Variation relative moyenne des fluctuations des piézomètres et nombre de points disponibles de la BSS au fil du temps

La fig. 30 montre les variations relatives d'amplitude de tous les points de la BSS par rapport à la période de 1967 à 2003. On observe ainsi les périodes de pourcentage par rapport à un maximum calculé. Cette approche statistique des points d'eaux installés en périodes "hautes eaux" (> 60/75 %), moyennes eaux, basses eaux (< 25 %) permet d'ajouter des niveaux qui correspondent à des mesures faites en période de hautes eaux.

On obtient ainsi un total de 615 points utilisables pour une cartographie de hautes eaux (fig. 31). La fig. 31 suivante présente la localisation de ces points. Certaines zones sont peu représentées par ces points et demanderaient une nouvelle série de mesures pour permettre une meilleure cartographie.

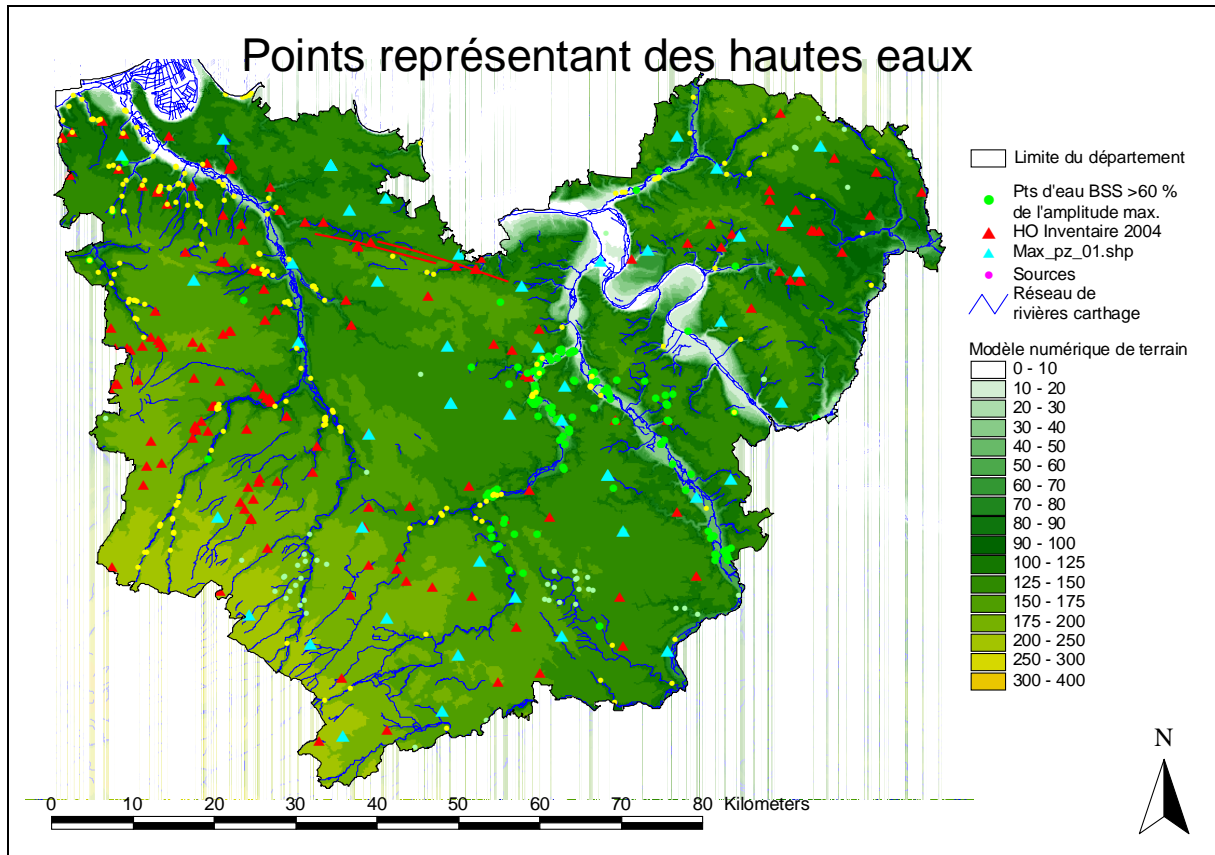


Fig. 31 - Localisation des points représentant les hautes eaux

La carte piézométrique des très hautes eaux est représentée à l'échelle 1 /100 000 sur la planche hors texte n°7.

A partir de ces points, une carte des iso profondeurs des niveaux piézométriques a été créée et comparée aux profondeurs moyennes. La différence a été appliquée à la base des points des moyennes eaux dans les zones représentatives.

La carte suivante des battements (fig. 32) indique également les zones qui ne semblent pas être bien représentées par le jeu des données hautes eaux car :

- soit les zones sont trop éloignées des points de mesures (masqué en orange sur la fig. 32),
- soit le fort gradient de la piézométrie ne permet pas une bonne interpolation (masque vert de la fig. 32).

Ailleurs, les zones ont été analysées, mettant ainsi en relation l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) et la différence entre les moyennes eaux et les hautes eaux (battement). Cette analyse permet d'estimer une corrélation entre les deux composantes, avec des battements de 10 à 15 m pour les profondeurs de nappe

supérieures à 30 m et des battements de 0 à 5 m pour les profondeurs de nappe inférieures à 30 m.

On obtient alors un battement entre les moyennes eaux et les hautes eaux variant de 0 à 25 m, avec une moyenne de battement de 8.5 m. Cette valeur est très proche des calculs statistiques des piézomètres dans l'Eure, qui montre un battement moyen de 6 m toutes périodes confondues.

Des données pourraient être introduites ultérieurement pour combler les zones où des données pour les périodes de hautes eaux manquent, notamment sur la Plaine de Neubourg.

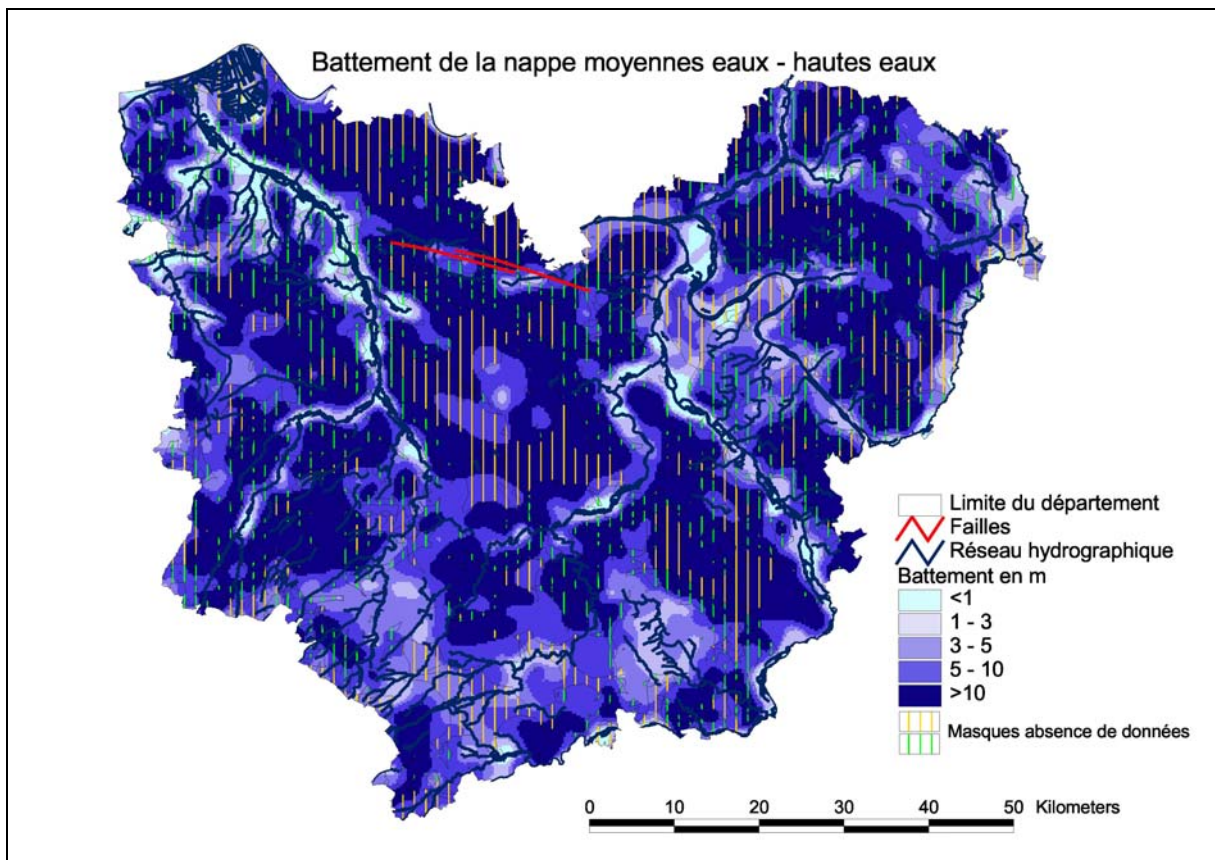


Fig. 32 - Amplitude des fluctuations entre très hautes eaux et moyennes eaux

Les battements entre très hautes et moyennes eaux se répartissent en général comme suit :

- Les rivières contrôlent le battement de l'aquifère par le niveau topographique de base des rivières ;
- Les flancs de versant sont alimentés par les plateaux et drainés dans le même temps par les vallées. Un fort gradient s'y exprime, dépendant de la capacité de drainage, d'évacuation de la rivière (perméabilité et connexion de l'aquifère avec la rivière, débit de la rivière). Une période de hautes eaux se répercute fortement sur ces zones, car l'alimentation augmente et le niveau plus important dans les vallées limite d'autant plus

l'évacuation de ces eaux. Le niveau augmente alors fortement sur les versants de vallée, où l'on observe plus habituellement une profondeur importante de l'aquifère ;

- L'aquifère de la craie se rapproche de la surface sur plusieurs centres de plateaux du département de l'Eure. Le battement y est généralement limité ;
- Les autres plateaux sont caractérisés par des profondeurs plus importantes. Le gradient piézométrique est faible sous les grands plateaux et dépend seulement de l'alimentation efficace par infiltration. Pour une pluie efficace d'environ 200 mm et une infiltration de 50 % à 80 %, on obtient un battement général de 10 à 16 m pour un coefficient d'emménagement moyen connu d'environ 1 % sous les plateaux.

Les écarts, entre les points mesurés en 2001 considérés comme hautes eaux et les niveaux moyens, sont présentés sur la fig. 33. Cette carte montre que les écarts peuvent varier très fortement entre des points de mesures proches les uns des autres.

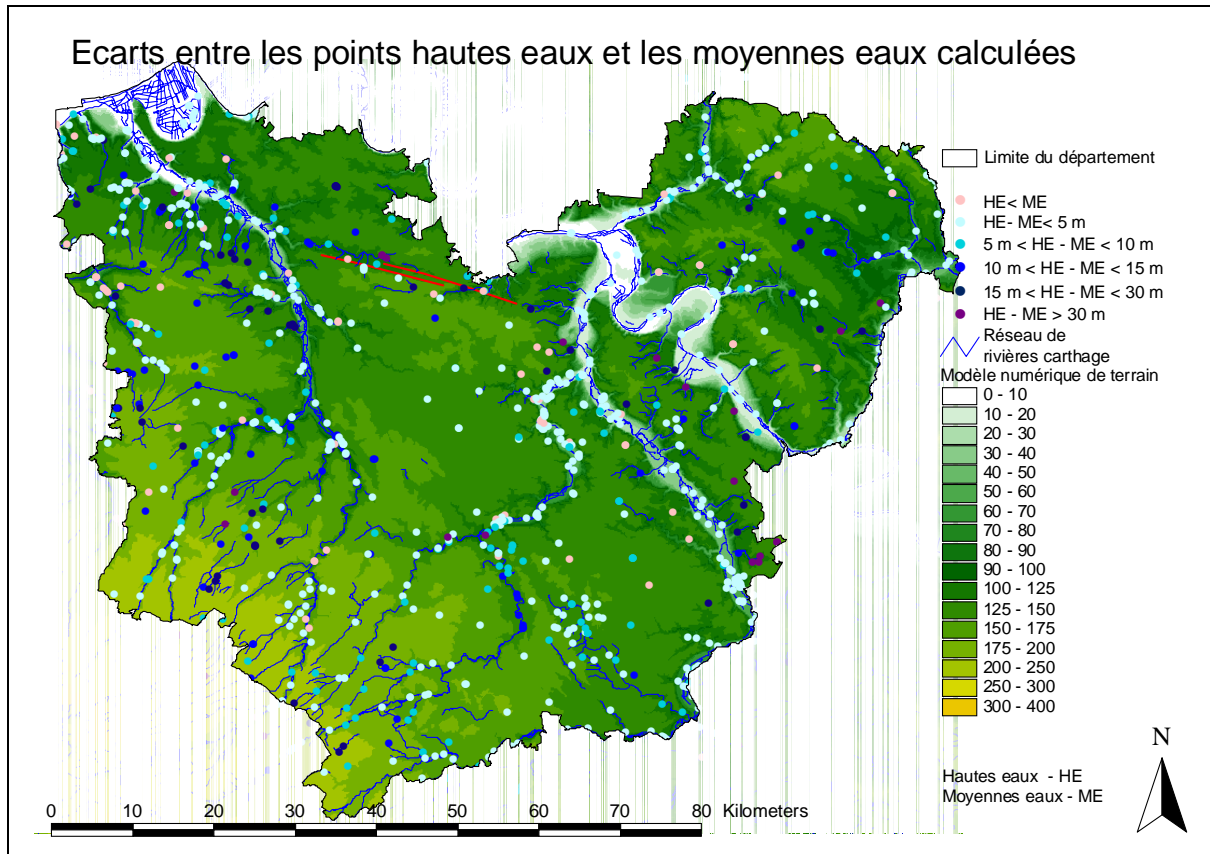


Fig. 33 - Ecarts entre les points en situation de très hautes eaux et les niveaux moyennes eaux en mètres

en lila : écart > 30 m, points à très forts battements où les cours d'eaux sont probablement déconnectés de l'aquifère,
 en rose : écart < 0 m (erreur d'interpolation).

5.6. ELABORATION DE LA PIEZOMETRIE DE BASSES EAUX

Jusqu'à aujourd'hui, il n'a pas été réalisé de campagne piézométrique spécifique de mesure de l'aquifère crayeux en période de basses eaux, à l'image de celle réalisée en 2001 lors de très hautes eaux.

Les basses eaux ont été calculées à partir d'une analyse statistique de l'ensemble des points d'eau mesurés en période de basses eaux et des niveaux bas pour les différents piézomètres.

Une relation directe entre le battement et la distance aux rivières ou une relation entre l'épaisseur de la zone non saturée et le battement est difficile à établir, notamment parce que les données ne sont pas homogènes et que la répartition des seuls points de basses eaux ne couvre pas tout le département.

Ces points de basses eaux sont comparés à une surface "basses eaux théoriques", calculée à l'aide des moyennes eaux et le battement obtenu pour les hautes eaux, battement appliqué à un coefficient de proportionnalité près, pour définir les basses eaux.

Pour rechercher une telle relation entre surface piézométrique théorique basses eaux et les points effectivement de basses eaux, il a été distingué deux groupes de comportements différents :

- les zones à forte infiltration, avec une faible densité du réseau hydrologique,
- les zones à fort ruissellement, notamment au sud du département où l'on rencontre une forte densité de réseau hydrologique.

Pour la plus grande partie du département, les zones de forte infiltration, en appliquant un facteur de proportionnalité de 1.04 au battement, la surface piézométrique basses eaux théorique obtenue se rapproche fortement des points de basses eaux à un coefficient de corrélation de 0.98 (fig. 34).

Dans les zones ruisselantes et dans les vallées, en appliquant un facteur de proportionnalité de 0.98 au battement, la surface piézométrique basses eaux théorique obtenue se rapproche fortement des points de basse eaux à un coefficient de corrélation de 0.98 (fig. 34).

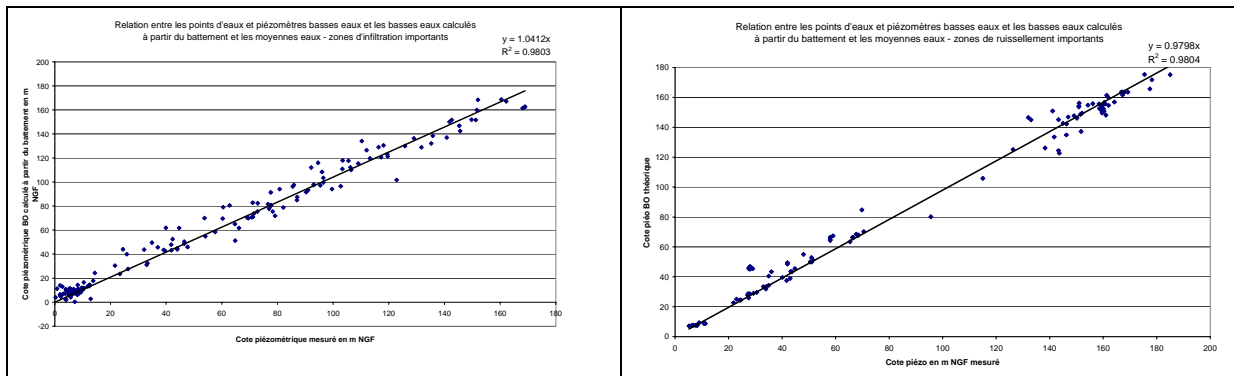


Fig. 34 - Relation statistique entre surface piézométrique théorique de basses eaux et points réels de basses eaux dans les zones de forte infiltration (à gauche) et zones de fort ruissellement (à droite)

On obtient une carte de fluctuation de basses eaux par rapport aux moyennes eaux (fig. 35), qui varie de 0 à 17 m, avec une amplitude moyenne de 3.5 m.

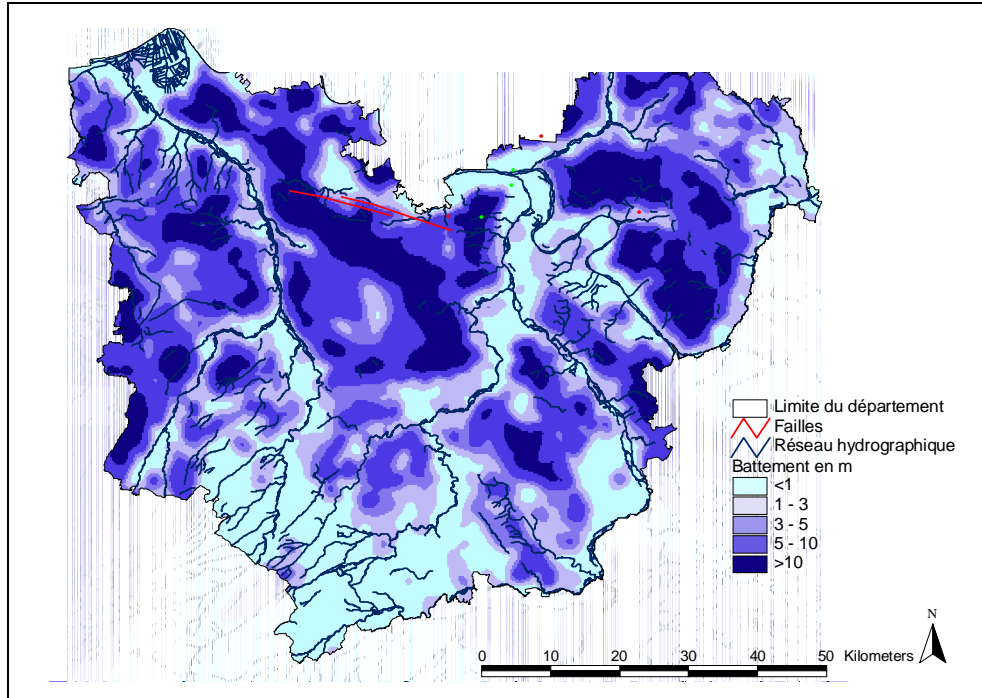


Fig. 35 - Estimation de la fluctuation entre la piézométrie théorique basses eaux et la piézométrie des niveaux moyens

Cette fluctuation théorique est soustraite à la piézométrie des niveaux moyens pour obtenir la piézométrie interprétée de basses eaux (fig.36) :

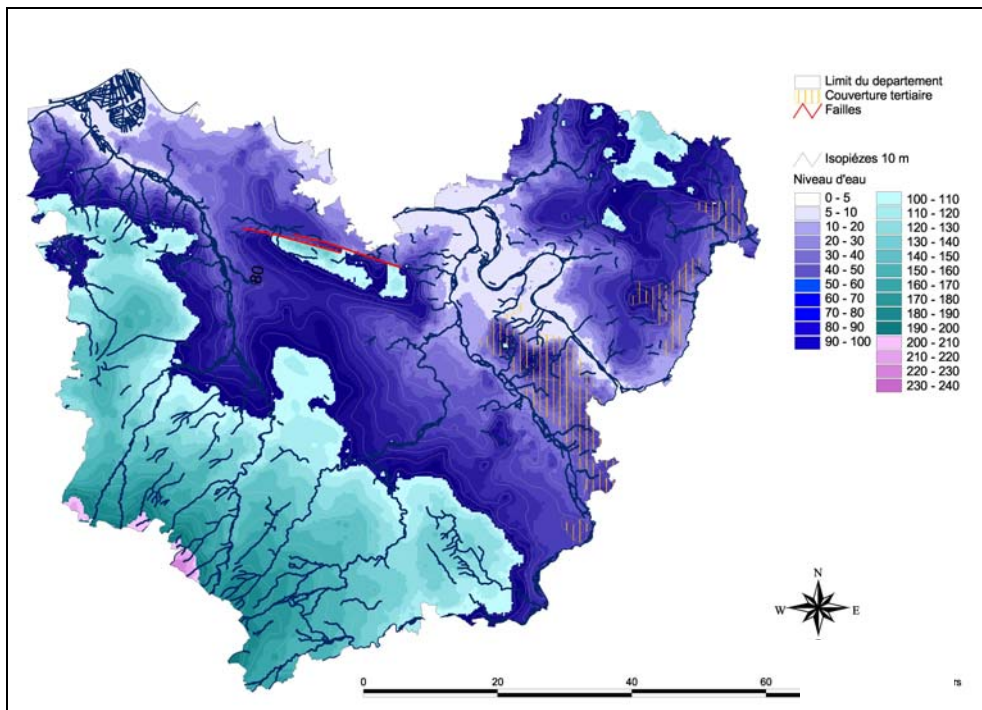


Fig. 36 - Carte piézométrique des basses eaux interprétées

Les isopièzes interprétés de basses eaux sont représentées sur la planche hors texte n°8 à l'échelle 1 /100 000.

La carte (fig. 37) illustre l'épaisseur de la zone non saturée en basses eaux avec les points de basses eaux utilisés pour l'approche statistique.

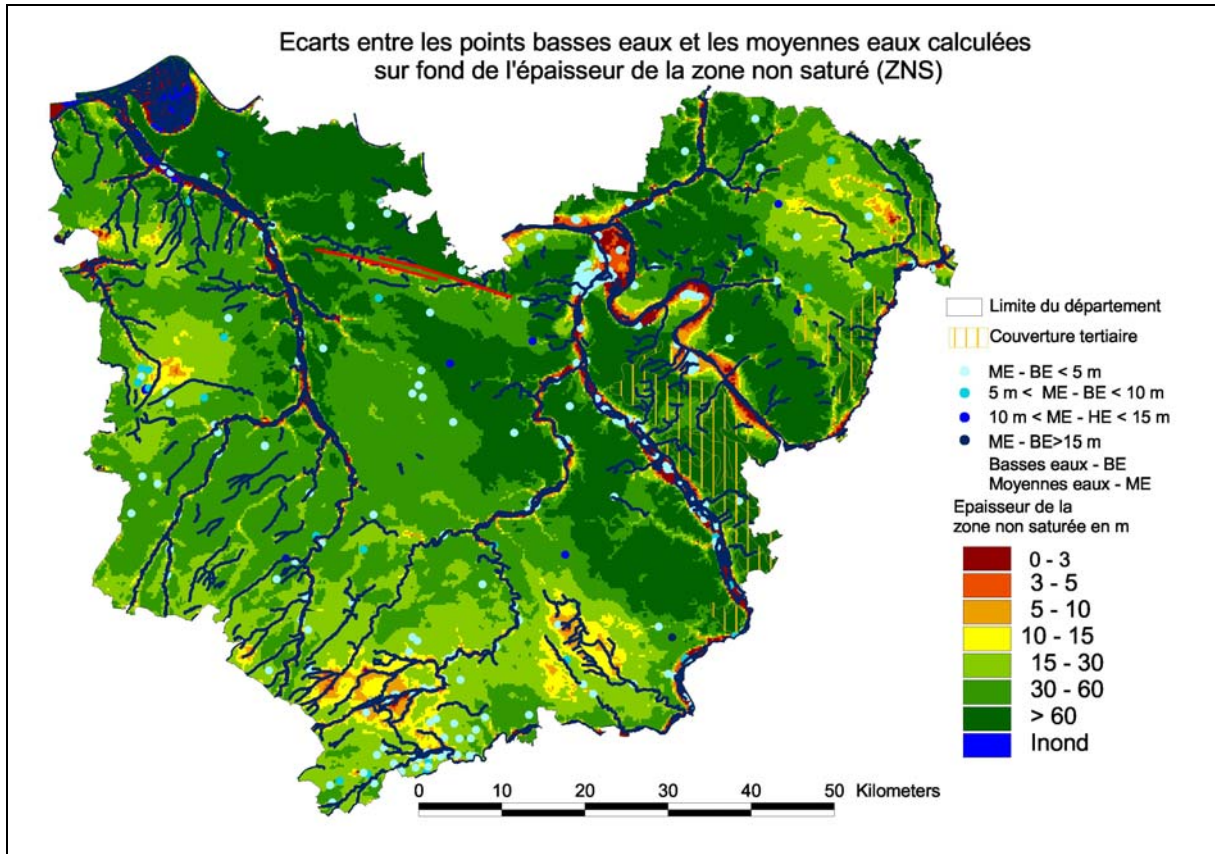


Fig. 37 - Localisation des points de basses eaux ayant servi à caler la piézométrie de basses eaux, avec leur ordre de grandeur de fluctuations observées sur ces points, sur fond de ZNS en basses eaux

Il faut prendre en compte que la carte piézométrique obtenue des basses eaux est une première approche. Elle devra être contrôlée à l'avenir par des campagnes spécifiques de mesures piézométriques de basses eaux. Cette application d'un battement général est une approche et doit être prise en compte avec précautions et prudence.

5.7. ZONES HUMIDES POTENTIELLES

Après concertation avec la DIREN HNO, les zones humides potentielles ont été définies pour les zones de nappes affleurantes (hauteur piézométrique > surface du sol) mais aussi pour des épaisseurs de zones non saturées très faibles, inférieures à 2.5 m de profondeur (aquifère de la craie accessible par les systèmes racinaires).

La zone non saturée varie fortement de la situation de basses eaux à fortes eaux (fig. 38)

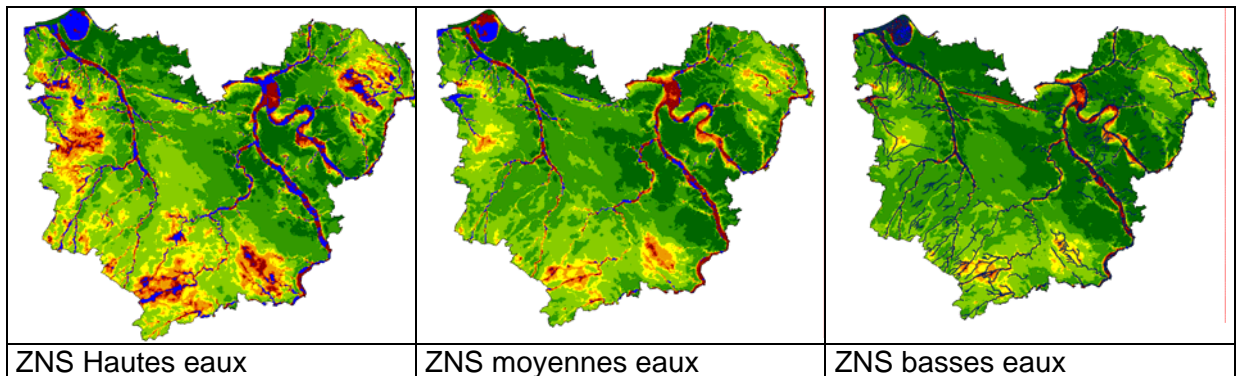


Fig. 38 - Variation d'épaisseurs de la zone non saturée pour les trois cartes piézométriques différentes

En dehors des axes de cours d'eaux pérennes, les zones où l'aquifère de la craie est potentiellement affleurant en conditions moyennes, sont limitées au Marais vernier, zone humide de réputation nationale.

Les zones de faibles profondeurs de l'aquifère de la craie ne sont localisées en temps normal qu'à hauteur de l'amont de la Calonne et de la Coudanne, la partie de l'Iton où la rivière présente deux bras autour de Breteuil-sur-Iton ainsi que sur l'amont de la vallée voisine du Lême

En situation de basses eaux, le Marais Vernier reste avec des niveaux piézométriques en débordement potentiel de l'aquifère de la craie dans les alluvions holocènes.

Par contre, en dehors des vallées pérennes, on n'observe plus ailleurs l'aquifère crayeux en situation proche de la surface.

En hautes eaux, des zones localisées de niveaux piézométriques en débordement potentiel de l'aquifère de la craie apparaissent sur le plateau du Lieuvin, dans la vallée habituellement sèche du Lême, au cœur du plateau de Saint-André-de-L'Eure en amont de la Coudanne, et au cœur du Vexin Normand dans les amonts de bassins versants de la Bonde et du Gambon. Tout autour de ces zones de potentiels débordements de l'aquifère crayeux, l'aquifère est en position superficielle sur de vastes étendues (<2.5 m).

La cartographie des zones humides potentielles réalisée pour le département de l'Eure est représentée à l'échelle 1/100 000 en planche hors texte n°11.

Sur cette carte des zones humides, c'est l'aquifère de la craie en position de débordement (niveau piézométrique > sol) ou en position très superficielle qui a été représenté en conditions de niveaux piézométriques moyens mais aussi, en second plan, en périodes de très hautes eaux.

6. Conclusion

En partenariat financier avec le Conseil Général de l'Eure et l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le BRGM a été chargé de compléter et d'actualiser la dernière version papier de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure réalisé en 1991.

A l'image des départements crayeux voisins déjà traités (Eure-et-Loir et Seine-Maritime), cette version numérique de l'atlas hydrogéologique de l'Eure consiste dans un premier volet en l'élaboration des couches SIG de l'aquifère de la craie (couches géologiques et hydrogéologiques), objet du présent rapport et un volet bilan hydrique quantitatif de la craie, objet du présent rapport BRGM associé RP-52988-FR.

Le travail de définition des couches SIG à l'échelle 1/1000 000 s'est fondé sur les données issues de la BSS (données déjà numériques ou numérisées), complétées des données des Atlas hydrogéologiques voisins, de données de la CGG et de forages ponctuels récupérés auprès de la DDE, de la DDAF et du Conseil Général de l'Eure. Il existe désormais un jeu de couches harmonisées sur les départements de l'Eure, l'Eure-et-Loir et la Seine Maritime.

Les couches géologiques ont consisté, par interpolation des données, à définir le mur et le toit de l'aquifère de la craie mais aussi les principales limites stratigraphiques de la craie (toit du Cénomaniens et toit du Turonien). La couverture des formations superficielles ainsi que les formations tertiaires protège à des degrés variables l'aquifère de la craie ; elles ont également fait l'objet d'une cartographie numérique.

L'examen des couches géologiques résultantes n'a pas révélé d'éléments nouveaux, faute de données nouvelles par sondages mais il a été possible de lister certaines zones très imprécises : le secteur du Roumois, la vallée de l'Oison et des failles de Bourghéroulde-Infreville, les plateaux du Pays d'Ouche et Pays d'Auge. Ces zones mériteraient notamment un réexamen par acquisition de données ponctuelles.

Dans le même temps, il a été réalisé plusieurs couches piézométriques, correspondant à des événements différents (niveaux moyens, très hautes eaux et basses eaux).

La piézométrie des niveaux moyens reste très proche de la piézométrie de l'Atlas hydrogéologique de 1989. Par contre, la piézométrie très Hautes Eaux a bénéficié des mesures de la campagne piézométrique réalisée en juin 2001 dans des conditions exceptionnelles de très Hautes Eaux de l'aquifère crayeux (rapport BRGM RP-51153-FR). La piézométrie basses eaux obtenue reste tributaire d'un jeu de données non suffisant et mériterait largement d'être reprise après une campagne de mesures spécifique quand les circonstances le permettront.

Par croisement des données géologiques et piézométriques moyens, il a été possible d'évaluer d'autres paramètres caractéristiques de l'aquifère de la craie, comme l'épaisseur de craie saturée (craie "mouillée"), l'épaisseur de craie sèche (craie "sèche"), de la Zone Non Saturée, des relations de l'aquifère de la craie avec les cours d'eaux (secteurs drainants ou non drainants), de l'allure de la piézométrie par rapport à la géomorphologie et enfin des zones humides potentielles (contribution de l'aquifère de la craie en position affleurante ou sub-affleurante à la présence des zones humides). Outre les enseignements nouveaux qu'elle amène (données non

accessibles jusqu'à présent), ces couches permettent d'apprécier la cohérence globale des couches géologiques et piézométriques mais aussi les incohérences localisées, qui mériteront un réexamen quand de nouvelles données de bases seront acquises.

L'ensemble des cartes, réalisées et harmonisées sur les 3 départements selon la même méthode, reste susceptible d'actualisation, en complétant les fonds de données par des nouvelles mesures ponctuelles individuelles ou sur certaines zones insuffisamment couvertes à l'heure actuelle. Ces cartes ont été utilisées pour la partie bilan hydrique du projet, mais aussi pour les travaux de caractérisation de la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) de l'Albien-Néocomien, aquifères sous-jacents à celui de la Craie.

Bibliographie

ARBONNIER G. (2003) Atlas hydrogéologique du département de l'Eure. mém. fin d'études IGAL 81 p.

BRGM (1980) Synthèse géologique du Bassin de Paris en 3 volumes. mémoires du BRGM n°101 à 103. Editions BRGM.

DE LA QUERIERE P. (1999) - Aquifère crayeux de Haute-Normandie, version provisoire, 4p.

HANOT F. (1998) AESN : Géologie et géométrie de l'aquifère de la Craie. Département de Seine Maritime. Zone occidentales et orientales Rapport CGG n° 01IMEOL03/04/97, 40 p. 16 pl.

HANOT F. (2001) Département de l'Eure-et-Loir. Etude hydrogéologique de l'aquifère de la craie Rapport CGG n° , 28 p. 10 pl. 3 ann.

LAIGNEL B (1997) Les altérites à silex de l'ouest du Bassin de Paris : Caractérisation lithologique, genèse et utilisation potentielle comme granulats. Thèse Univ. Rouen. 220 p., 69 fig., 67 tab. 2 annexes.

MALASSIS R. (1985) Le département de l'Eure : présentation physique. Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts. 42 p 12 fig ; , 3 tab.

QUESNEL F (1997) Cartographie numérique en géologie de surface. Application aux altérites de l'ouest du Bassin de Paris. Thèse Univ. Rouen. 2 tomes, 420 p., 92 fig., 6 tab., 10 annexes

WAZI N. (1988) le Crétacé du Roumois (vallée de l'Oison) et le Tertiaire-Quaternaire des régions voisines de la basse vallée de la Seine. Thèse de l'Université de Rouen. 535 p

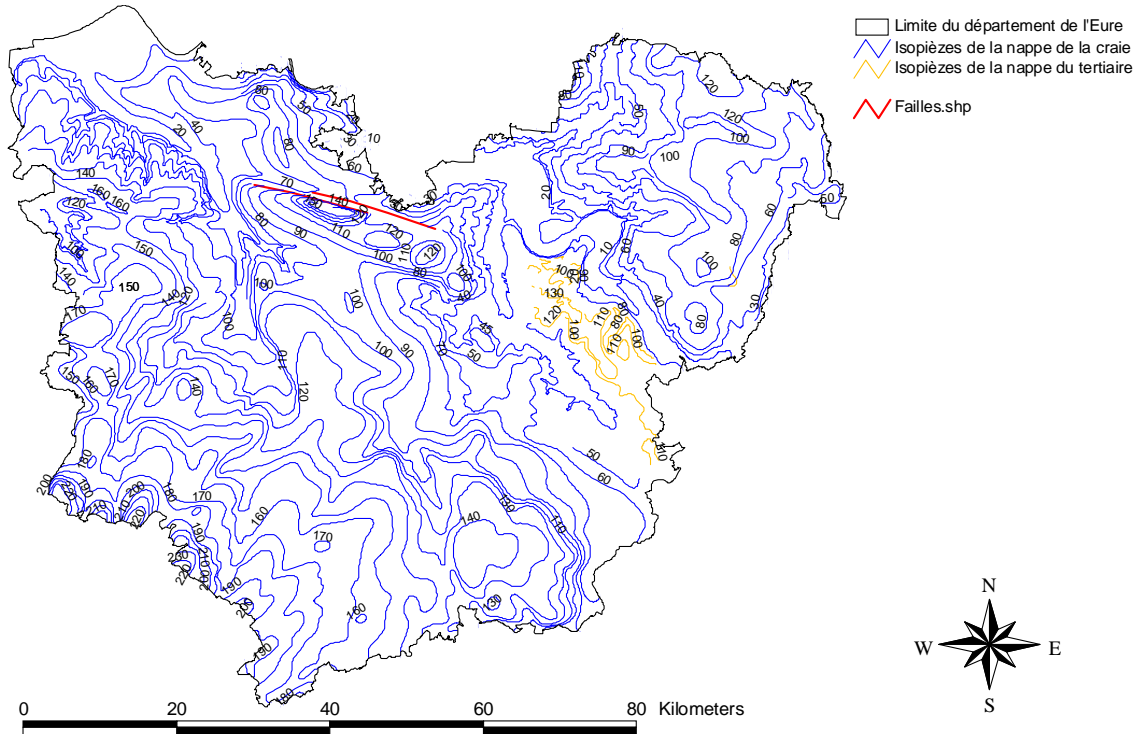
Les cartes géologiques à 1/50 000 suivantes et leurs notices ont été également consultées :

Pont-Audemer	n° 98
Rouen ouest	n° 99
Rouen est	n° 100
Gournay	n° 101
Brionne	n° 122
Elbeuf	n° 123
Les Andelys	n° 124
Gisors	n° 125
Bernay	n° 148
Beaumont-le-Roger	n° 149
Evreux	n° 150
Mantes-la-Jolie	n° 151
Rugles	n° 178
Breteuil	n° 179
St-Andre-de-l'Eure	n° 180
Hourdan	n° 181
Verneuil-sur-Avre	n° 215
Dreux	n° 216

Annexe 1 :

**Piézométrie de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure
(ed. 1989, ©BRGM)**

Carte des isopièzes de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure (ed. 1989)





Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Haute-Normandie
Parc de la Vatine – 10 rue A. Sakharov
76130 Mont Saint Aignan – France
Tél. : 02 35 60 12 00