



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Outils d'Aide à la Gestion et Protection des Ressources en eau du département de l'Orne (61) – Atlas Hydrogéologique Départemental (Synthèse Générale)

Rapport Final

BRGM/RP-74686-FR

Version 0 du 15 septembre 2025

Étude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques

Idée Erwan

Vérificateur :

Nom : Pierre Chrétien

Fonction : Hydrogéologue Régional

Date : 22/09/2025

Signature :

Approbateur :

Nom : Manuel Parizot

Fonction : Directeur Régional

Date : 21/10/2025

Signature :

Manuel PARIZOT
Directeur Régional
BRGM Normandie

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés :

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

Idée Erwan (2025) – Outils d'Aide à la Gestion et Protection des Ressources en eau du département de l'Orne (61) – Atlas Hydrogéologique Départemental (Synthèse Générale). Rapport Final V0. BRGM/RP-74686-FR, 109 p.

© BRGM, 2025, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-22/09/2022

Synthèse

Ce rapport constitue l'aboutissement du programme Outils d'Aide à la Gestion et Protection des Ressources en Eau du département de l'Orne (61) mis en œuvre à la demande du Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne (SDE61) avec le soutien financier des Agences de l'Eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne.

Il synthétise les travaux menés entre 2019 et 2025, visant à mieux comprendre le fonctionnement des ressources en eau souterraine dans un contexte de pressions croissantes (usages, pollution, changement climatique).

Sur le plan géologique, le département de l'Orne se trouve à la frontière entre le Massif Armoricaire et le Bassin Parisien, avec une géodiversité marquée. Les principales formations rencontrées sont des granites, schistes, grès paléozoïques et formations métamorphiques pour le socle ancien du domaine armoricaire à l'Ouest du département alors que l'on rencontre des calcaires, marnes, sables du Jurassique et du Crétacé dans les domaines sédimentaires de l'Est du département. Ces ensembles géologiques abritent plusieurs types d'aquifères de capacité et dimensions importantes, exploitées notamment pour les besoins d'alimentation en eau potable.

Dans ce programme, il a ainsi pu être souligné que les aquifères du département de l'Orne étaient par ailleurs très compartimentés, tant dans l'Est du département en domaine sédimentaire qu'à l'Ouest en domaine de socle : verticalement par des successions lithologiques différentes ou leurs altérites (plus ou moins perméables) abritant des nappes libres et captives ; ou compartimentées horizontalement, affectées par des déformations ou des failles régionales qui peuvent décaler les horizons aquifères et impacter les écoulements.

Ainsi, il a pu être mis en évidence que les aquifères de socle étaient globalement discontinus, liés à l'altération, la fissuration et la fracturation, disposent de ressources en eaux plus limitées mais localement productives. Les aquifères sédimentaires, principalement calcaires (Bajocien-Bathonien, Oxfordien), sables (Cénomaniens, Turonien), sont au contraire plus étendus et généralement plus productifs.

Dans leur ensemble, les aquifères du département de l'Orne se sont révélés vulnérables du fait d'échanges avec les eaux de surface (karsts, fractures) ou par drainance d'horizons superficiels, particulièrement exposés aux activités humaines (sols et altérites, alluvions, aquifères perchés ou superposés). Ces éléments impactent de façon générale la qualité des eaux souterraines, qui s'en trouve dégradée.

Des cartes piézométriques départementales (asynchrones) ont été produites pour les principaux aquifères : formations de socle, Bajocien-Bathonien, Oxfordien, Craie et sables du Perche. Elles sont traduites sous forme de cartes hydrogéologiques dans ce rapport (avec matérialisation des directions d'écoulement et principales limites de partage des eaux). Par ailleurs, une analyse du comportement des eaux souterraines à partir des chroniques de suivi des niveaux a également été proposée, permettant de mettre en évidence des fonctionnements différenciés entre principales formations aquifères ainsi qu'au sein de ces ensembles (sous-ensembles).

Il est à noter que le suivi quantitatif des eaux souterraines du département de l'Orne repose sur environ 46 ouvrages (réseaux BRGM et SDE61) mais reste lacunaire pour certains bassins.

Dans ce rapport, une analyse succincte est proposée pour souligner le rôle des eaux souterraines dans les processus de remontée de nappes et dans la résilience des différents bassins-versants aux sécheresses hydro-climatiques.

Enfin un volet quantitatif, s'appuyant sur la mise en œuvre de modèles globaux a permis de souligner la contribution relative des eaux souterraines dans le fonctionnement des hydrosystèmes des principaux bassins versants. Ce travail a permis de mettre en évidence l'impact relatif que pouvaient représenter les principaux prélèvements dans les eaux souterraines face à la recharge estimée.

L'ensemble de ce travail constitue désormais un outil d'aide à la décision pour les collectivités, gestionnaires et services de l'État pour assurer une gestion durable des ressources en eau et leur usage équilibré mais aussi parce que le département de l'Orne occupe une **position stratégique** au sein des bassins Seine-Normandie et Loire-Bretagne. Ce département est en effet le point de départ des principaux bassins versants qui irriguent ou alimentent les départements voisins.

Dans cette optique, le BRGM a recommandé la mise en œuvre de :

- Un suivi hydrologique et hydrogéologique renforcé sur les bassins-versants ;
- Une meilleure maîtrise des prélèvements et pollutions diffuses ;
- Des simulations prospectives multi-scénarios pour mieux évaluer les réponses des ressources en eau (souterraine et de surface) des domaines sédimentaires et de socle aux extrêmes climatiques et effets du changement climatique (à moyen et long termes).

Sommaire

1. Introduction	11
2. Géologie.....	13
2.1. Cadre général	13
2.2. Litho-stratigraphie	15
2.3. Principales structures	21
2.4. Coupes géologiques.....	22
2.5. Définition des « grands ensembles hydrogéologiques »	27
3. Hydrogéologie	31
3.1. Principaux bassins versants	31
3.2. Débits caractéristiques et régimes des cours d'eau	32
3.3. Hydrogéologie des domaines sédimentaires et de socle	37
3.3.1. <i>Aquifères de socle</i>	37
3.3.2. <i>Aquifères sédimentaires</i>	40
3.3.3. <i>Synthèse des connaissances actuelles</i>	43
4. Piézométrie	53
4.1. Cartes hydrogéologiques départementales	53
4.1.1. <i>Aquifères du domaine de socle armoricain</i>	54
4.1.2. <i>Aquifères du domaine sédimentaire</i>	56
4.1.3. <i>Commentaires sur les cartes produites</i>	62
4.2. Réseaux de surveillance des eaux souterraines.....	64
4.3. Susceptibilité aux phénomènes de remontées de nappes (source MTES/DGPR- BRGM)	66
4.3.1. <i>Conditions favorisant le déclenchement du phénomène</i>	66
4.3.2. <i>Cas des inondations par remontées de nappes reposant sur une formation peu perméable</i>	67
4.3.3. <i>Effets et conséquences</i>	67
4.4. Sécheresses	70
5. Quantité.....	73
5.1. Climatologie	73
5.2. Ruissellement.....	75
5.3. Recharge	76
5.4. Contribution des eaux souterraines au fonctionnement hydrologique des bassins versants	77
5.5. Effet du changement climatique sur les ressources en eau	80
6. Usage des eaux souterraines	87
6.1. Zonages réglementaires (GEST'EAU).....	87
6.1.1. <i>SDAGE (2022-2027) – Ressources stratégiques à réserver pour l'alimentation en eau potable</i>	87
6.1.2. <i>Les SAGES</i>	89
6.1.3. <i>Les Zones de Répartition des Eaux (ZRE)</i>	90
6.2. Prélèvements	91
6.3. Qualité.....	95
6.4. Géothermie	98
6.4.1. <i>Potentiel de la géothermie de surface</i>	98
6.4.2. <i>Réglementation</i>	100
6.5. Rappels pour la création de captages d'eau souterraine (puits, forages, piézomètres)	103

6.5.1.	<i>Réglementation</i>	103
6.5.3.	<i>Plateforme DUPLOS</i>	104
7.	Conclusion	105

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géologique du département de l'Orne. Haut : situation entre domaine armoricain et Bassin Parisien. Bas : principales lithologies rencontrées (source : BRGM).....	14
Figure 2 : Log litho-stratigraphique des formations géologiques présentes sur le département de l'Orne et événements sédimentaires et tectoniques associés (compilation bibliographique) - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR.....	17
Figure 3 : Carte lithologique et structurale du département de l'Orne (compilation bibliographique) - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR.....	19
Figure 4 : Coupes géologiques produites dans le cadre du programme OAGPRO61 - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR.....	22
Figure 5 : Coupe Ecouves-Argentan (Coupe 2), orientée Sud-Sud-est – Nord-Nord-ouest. Exagération verticale importante	23
Figure 6 : Coupe géologique simplifiée NO-SE du département de l'Orne (coupe n°5), entre Flers et le Perche. Exagération verticale importante. NB : Les formations superficielles ne sont pas systématiquement représentées.....	25
Figure 7 : Carte des « grands ensembles géologiques et hydrogéologiques », réalisée à partir de la carte harmonisée départementale de l'Orne (Rapport BRGM/RP-69292-FR).....	29
Figure 8 : Rôle de la géologie sur l'organisation et la densité du réseau hydrographique (Fond carte géologique de France au million - BRGM, BD Carthage – IGN).....	31
Figure 9 : Organisation des cours d'eau et bassins versants du département de l'Orne, source : MNT et BD Carthage, IGN 2018.....	32
Figure 10 : « Carte d'identité » hydrologique et géologique des différents bassins versants étudiés dans le volet quantitatif du programme OAGPRO61 Première colonne : en Rose les Bv du domaine de socle armoricain, En Orange les Bv du domaine sédimentaire et en vert les BV mixtes Source données : Hydroportail et Météo France (1981-2010)	35
Figure 11 : Schéma conceptuel de fonctionnement des aquifères de socle (Schroetter et al., 2020 d'après Wyns, 1998 et 2004).....	38
Figure 12 : Extrait cartographique de la nature et épaisseur des allotérites du domaine de socle du département de l'Orne (source : BRGM/RP-74443-FR).....	39
Figure 13 : Configuration d'une nappe libre, drainée par un cours d'eau source : https://www.eaufrance.fr/les-eaux-souterraines-des-systemes-dynamiques	41
Figure 14 : Indices de développement du karst dans le département de l'Orne (BRGM/RP-69331-FR).....	42
Figure 15 : Coupe géologique détaillée des formations bathoniennes rencontrées dans un forage géothermique réalisé sur le secteur de Vimoutiers (source SDE61)	43
Figure 16 : Carte hydrogéologique des formations du domaine de socle du département de l'Orne	54
Figure 17 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations du domaine de socle armoricain Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité (position des aquitards)	55
Figure 18 : Carte hydrogéologique des formations du Dogger du département de l'Orne.....	56

Figure 19 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations de l'Aalénien-Bajocien-Bathonien Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité (position des aquitards).....	57
Figure 20 : Carte hydrogéologique des formations de l'Oxfordien Kimmeridgien du département de l'Orne	58
Figure 21 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations oxfordiennes et kimmeridgiennes Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité (position des aquitards).....	59
Figure 22 : Carte hydrogéologique des formations du Crétacé supérieur du département de l'Orne	60
Figure 23 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations du Crétacé supérieur Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité (position des aquitards).....	61
Figure 24 : Exemples de configurations de relations nappes/rivières possibles (figure extraite du rapport BRGM/RP-69139-FR).....	63
Figure 25 : Carte des piézomètres et chroniques disponibles pour les principaux aquifères du département de l'Orne (source : SDE61 – BRGM dans rapport BRGM/RP-74443-FR).....	65
Figure 26 : Susceptibilité au phénomène de remontée de nappe (Haut : BRGM- Géorisques.gouv.fr ; Bas : DREAL Normandie)	69
Figure 27 : Page de Une de la presse locale illustrant des épisodes de sécheresse marquée ayant frappé les différents terroirs de l'Orne en 2022 (source : Orne combattante - Actu.fr)	70
Figure 28 : Ecart aux normales mensuelles lissées des 46 chroniques piézométriques du département avec en rouge la moyenne, en bleu la médiane. Les plages de gris représentent les minimums et maximums ainsi que les premiers et derniers quartiles	71
Figure 29 : Ecart aux normales mensuelles lissées des 53 chroniques de débits du département avec en rouge la moyenne, en bleu la médiane. Les plages de gris représentent les minimums et maximums ainsi que les premiers et derniers quartiles	71
Figure 30 : Zones d'alertes et point de surveillance des situations de sécheresse dans le Département de l'Orne (source : DDT61 v.2024)	72
Figure 31 : Moyennes annuelles pondérées des pluies (a) et d'ETP (b) calculées à partir des données SAFRAN (1990-2019)	74
Figure 32 : Valeurs moyennes de l'IDPR (2017) pour les principaux BV du département de l'Orne	75
Figure 33 : Estimation de la recharge annuelle moyenne pour chaque bassin versant	76
Figure 34 : Estimation de la part d'alimentation moyenne annuelle des eaux souterraines dans les bilans hydrologiques des principaux bassins versants du département de l'Orne	78
Figure 35 : La Sonce, affluent de l'Egrenne, traversant les barres de grès paléozoïques du domaine armoricain au niveau de la cluse de la Fosse Arthour (visible au second plan).....	78
Figure 36 : La Vie, circulant dans les vallées encaissées du Pays d'Auge, dont les épaulements sont formés par les cuestas des formations du Crétacé, visibles en arrière-plan	79
Figure 37 : Evolution des précipitations sur le territoire de la Normandie de 1960 à 2019 (données SAFRAN – Météo France) : (a) cartes moyennes trentenaires 1960-1989 et 1990-2019 ; (b) évolution entre ces deux périodes (source : Rapport BRGM RP-71398-FR).....	81

Figure 38 : Evolution de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) sur le territoire de la Normandie de 1960 à 2019 (données SAFRAN – Météo France) : (a) cartes moyennes trentenaires 1960-1989 et 1990-2019 ; (b) évolution entre ces deux périodes (source : Rapport BRGM RP-71398-FR).....	82
Figure 39 : Impact quantitatif du changement climatique sur les ressources en eau de la ZRE du Bajo-Bathonien et du bassin de la Touques (source : BRGM-CD14).....	84
Figure 40 : Cartes des zones réservées en priorité à l'alimentation en eau potable des bassins Seine-Normandie et Loire-Bretagne (source : SDAGE 2022-2027).....	88
Figure 41 : Carte de situation des SAGE (source : GESTEAU - Eau France, 2024).....	89
Figure 42 : Zone de Répartition des Eaux (ZRE) du département de l'Orne.....	90
Figure 43 : Somme des prélèvements moyens annuels totaux différenciés dans les eaux superficielles a) souterraines b) et estimés pour les principaux bassins versants du département de l'Orne (chiffes en m ³ /an) c) et % prélèvements en ESOU/Volume annuel infiltré d) – (source Rapport BRGM/RP-74443-FR).....	93
Figure 44 : Diagramme de PIPER des eaux souterraines en fonction des aquifères captés (source : Rapport BRGM/RP-71026-FR).....	95
Figure 45 : Fréquence de dépassement de la Norme DCE sur la période 2016-2020 (chiffres rapportés à la commune en fonction du nombre d'analyses) - source : Rapport BRGM/RP-71026-FR.....	97
Figure 46 : Cartographie de la favorabilité de la géothermie de surface sur sondes géothermiques verticales (RP-73583-FR, modifié).....	99
Figure 47 : Cartographie de la favorabilité de la géothermie de surface sur nappe (RP-73583-FR, modifié).....	100
Figure 48 : Cartes réglementaires de la géothermie de minime importance au niveau de la région Normandie pour la géothermie sur échangeurs ouverts (gauche) et fermés (droite) et pour les profondeurs 50 m, 100 m et 200 m – Source : cartographie réglementaire modifiée (Rapport BRGM/RP-72225-FR).....	102

Liste des annexes

Annexe 1	Cartes hydrogéologiques	107
----------	-------------------------------	-----

“N'abandonnez jamais votre droit à l'erreur, car vous perdriez la capacité d'apprendre des choses nouvelles et d'avancer dans la vie.” Pr. DAVID BURNS

Aussi, que nous soient pardonnées les approximations et erreurs de ce premier Atlas Hydrogéologique du département de l'Orne.

1. Introduction

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme de mise à disposition d'un Outil d'Aide à la décision et de Gestion des Principales Ressources aquifères du département de l'Orne (OAGPRO 61). Celui-ci est mené pour le Syndicat Départemental des Eaux de l'Orne (SDE61) avec le soutien financier des Agences de l'Eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne.

Le programme OAGPRO61 (Outils d'Aide à la Gestion et Protection des Ressources en eau du département de l'Orne) visait à fournir une synthèse des connaissances géologiques et hydrogéologiques actuelles sur les principaux aquifères du département de l'Orne, mais visait également à apporter des éléments de connaissance sur le fonctionnement quantitatif et qualitatif des ressources en eau souterraine du département de l'Orne, devant permettre in fine leur meilleure gestion opérationnelle. Ce programme s'est déroulé en 2 Phases et comprend au total 7 rapports.

Phase 1 d'Etat des Lieux, collecte et synthèse des données disponibles (2017-2020) :

- Synthèse Géologique et Structurale : Rapport BRGM/RP-69292-FR¹
- Synthèse des connaissances hydrogéologiques (bibliographique) : Rapport BRGM/RP-69331-FR²
- Bancarisation des données collectées : Rapport BRGM/RP-69332-FR³

Phase 2 Fonctionnement des aquifères sédimentaires et de socle (2021-2025) :

- Faciès chimiques et qualité des eaux souterraines : Rapport BRGM/RP-71026-FR⁴
- Réalisation des cartes piézométriques départementales : Rapport BRGM/RP-73813-FR⁵
- Fonctionnement quantitatif des principaux bassins-versants du département de l'Orne : Rapport BRGM/RP-74443-FR⁶
- Synthèse générale - Atlas Hydrogéologique du Département de l'Orne : Rapport BRGM/RP-74686-FR, présent rapport

¹ Meire B., Caritg S., Idée E. avec la collaboration de Gresselin F. Dugué O. (2019) – Synthèse géologique et hydrogéologique du département de l'Orne. Volet géologique et structural. Rapport final. BRGM/RP-69292-FR, 169 p., 74 ill., 1 ann.

² Idée E., Jallais N., Boisson A., Neveux A. avec la collaboration de Gresselin F., Dugué O. (2019) – Synthèse des connaissances géologiques et hydrogéologiques du département de l'Orne, Volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-69331-FR, 258p., 122 ill., 20 tabl., 3 ann.

³ Idée E., Jallais N. avec la collaboration de Eid P. et Malassigne V. (2019) – Synthèse géologique et hydrogéologique du département de l'Orne. Volet bancarisation des données. Rapport final BRGM/RP-69332-FR, 55 p., 17 ill., 2 ann., 1 CD.

⁴ Lions J., Idée E., Guerard Q. (2022) – Faciès chimiques et qualité des eaux souterraines des principaux aquifères du département de l'Orne. Rapport Final. BRGM/RP-71026-FR, 115 p.

⁵ Maillot M., Boisson A., Boivin B., Idée E., Jallais N. (2024) - Outils d'Aide à la Gestion et Protection des ressources en eau du département de l'Orne (61) - Réalisation de cartes piézométriques départementales. Rapport final V1. BRGM/RP-73813-FR, 57 p.

⁶ Idée E., Baulon L., Laurencelle M. et Boisson A. (2025) – Outils d'Aide à la Gestion et Protection des Ressources en eau du département de l'Orne (61) - Fonctionnement quantitatif des principaux bassins-versants du département. Rapport Final V1. BRGM/RP-74443-FR, 175 p.

2. Géologie

2.1. CADRE GENERAL

Le département de l'Orne est le témoin d'une histoire géologique riche et complexe et possède une géodiversité remarquable au niveau régional. Il a en effet la particularité de se trouver à cheval entre le Massif Armoricaire et le Bassin-Parisien (Figure 1 page suivante).

Le Massif Armoricaire est principalement constitué de formations anciennes, dites de socle : granites, roches volcaniques, roches métamorphiques (schistes tachetés, cornéennes), et de formations sédimentaires anciennes (grès, schistes, calcaires).

Le socle est recouvert par les assises sédimentaires mésozoïques de la bordure du Bassin parisien, dont l'épaisseur s'accroît vers l'est au fur et à mesure de leur ennoisement sous le bassin de Paris. Ces assises déposées durant le Jurassique et le Crétacé supérieur (Mésozoïque) ont des faciès variés : sables, calcaires, marnes et parfois argiles (Figure 1).

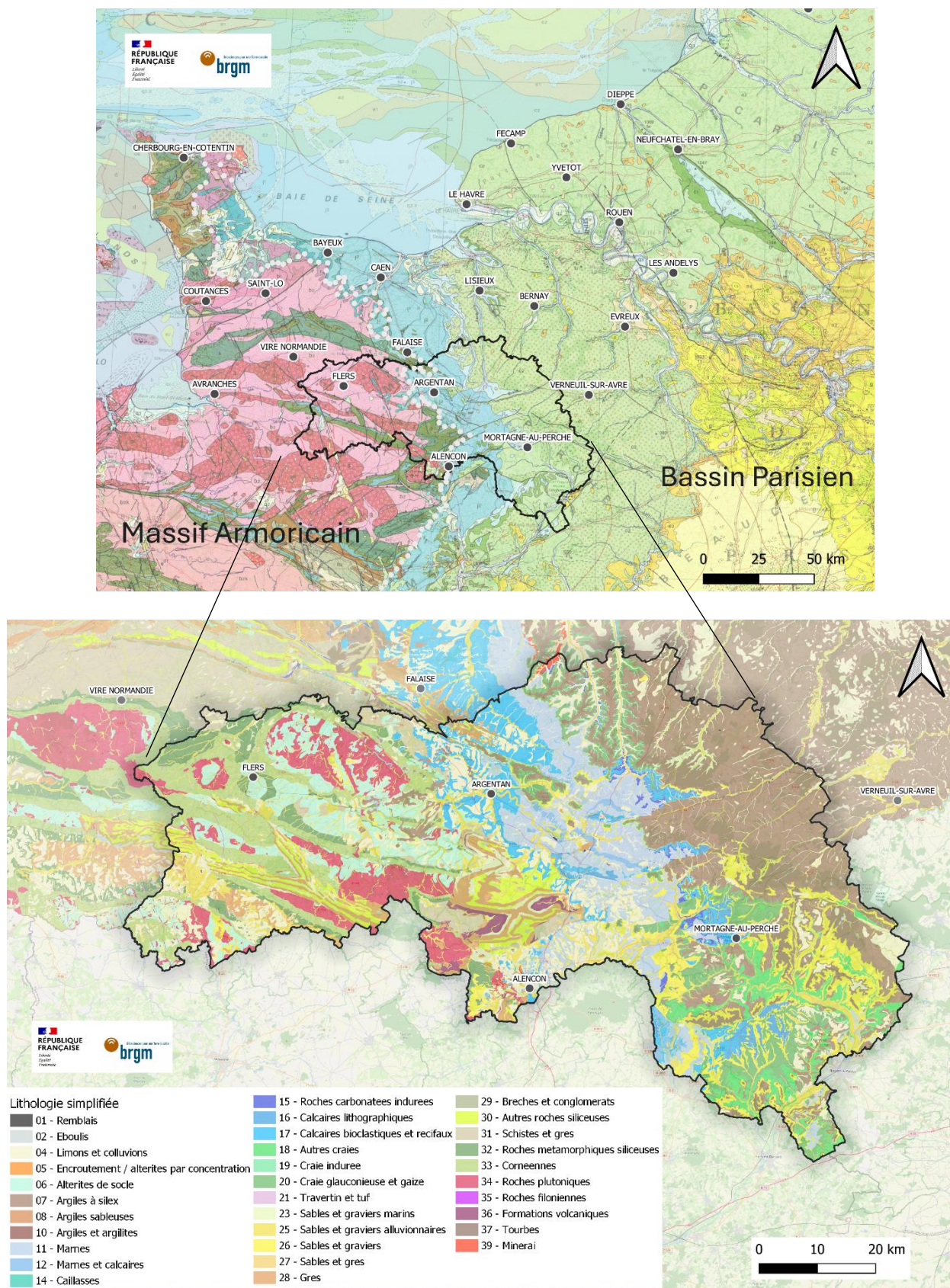


Figure 1 : Contexte géologique du département de l'Orne. Haut : situation entre domaine armoricain et Bassin Parisien. Bas : principales lithologies rencontrées (source : BRGM)

2.2. LITHO-STRATIGRAPHIE

Il est possible de regrouper les formations géologiques du département de l'Orne en 3 ensembles stratigraphiques distincts (tant dans les faciès présents que leurs épaisseurs) séparés par des discordances majeures : Protérozoïque, Paléozoïque et Cénozoïque :

- **La série protérozoïque (2 500 Ma - 540 Ma)** est caractérisée par des flyschs briovériens (principalement alternance de grès et schistes) recoupés par les plutons granitiques (et leur métamorphisme de contact). L'épaisseur des formations est importante voire très importante. Les flyschs sont intensément plissés voire foliés, structurés de manière complexe et hétérogène ;
- **La série paléozoïque (540 Ma – 250 Ma)** est caractérisée par d'épaisses séries de grès et calcaires, entrecoupées de plus petites séries schisteuses dont l'épaisseur cumulée peut atteindre plusieurs kilomètres. A l'échelle du département, ces formations sont plissées dans des structures antiformes et synformes de grande amplitude/ampleur comprenant également les séries briovériennes et les granites ;
- **La série mésozoïque (250 – 65 Ma)** est caractérisée principalement par des calcaires ou marnes que l'on peut regrouper en termes d'épaisseur et de continuité en trois sous-ensembles : les ensembles calcaires et crayeux de l'Oxfordien au Cénomanien (séparés par la glauconie de base), les marnes callovo-oxfordiennes et les calcaires du Bathonien et du Bajocien.

L'ensemble des principaux faciès lithologiques appartenant à ces séries ont été regroupées et synthétisées à travers l'élaboration d'un log litho-stratigraphique des formations géologiques présentes sur le département de l'Orne (Figure 2).

Comme cette démarche s'inscrit dans un objectif « hydrogéologique », les formations géologiques ont été regroupées en grands ensembles lithologiques, dont la texture argileuse, crayeuse, calcaire, granitique ou gréseuse influera sur sa nature aquifère (aquifère ou aquiclude).

Attention : Il est rappelé ici que l'ensemble des formations géologiques, représentées ci-après dans le log lithostratigraphique synthétique, ne sont pas présentes sur l'ensemble du département de l'Orne dans cette succession et avec les épaisseurs indiquées.

Le log représente : la position stratigraphique de l'ensemble de ces faciès, leurs éventuels passages latéraux (ou leur dénomination locale), ainsi que leurs épaisseurs maximales.

Il est important de bien comprendre que les conditions de mise en place de ces différentes formations géologiques (sédimentation principalement, magmatisme/plutonisme) ne s'est pas faite de façon homogène sur l'ensemble du territoire. Cette mise en place était très dépendante des environnements de dépôt et de la façon dont elle a été conservée dans le temps et dans l'espace en fonction des différentes pressions (tectoniques, isostatiques, eustatiques, ...) subies (structuration, affaissement, surrection, érosion, etc...) au cours des temps géologiques.

Pour plus de détail sur le descriptif lithologique et les particularités des formations rencontrées dans le département de l'Orne, nous invitons les lecteurs à se référer au rapport BRGM/RP-69292-FR.

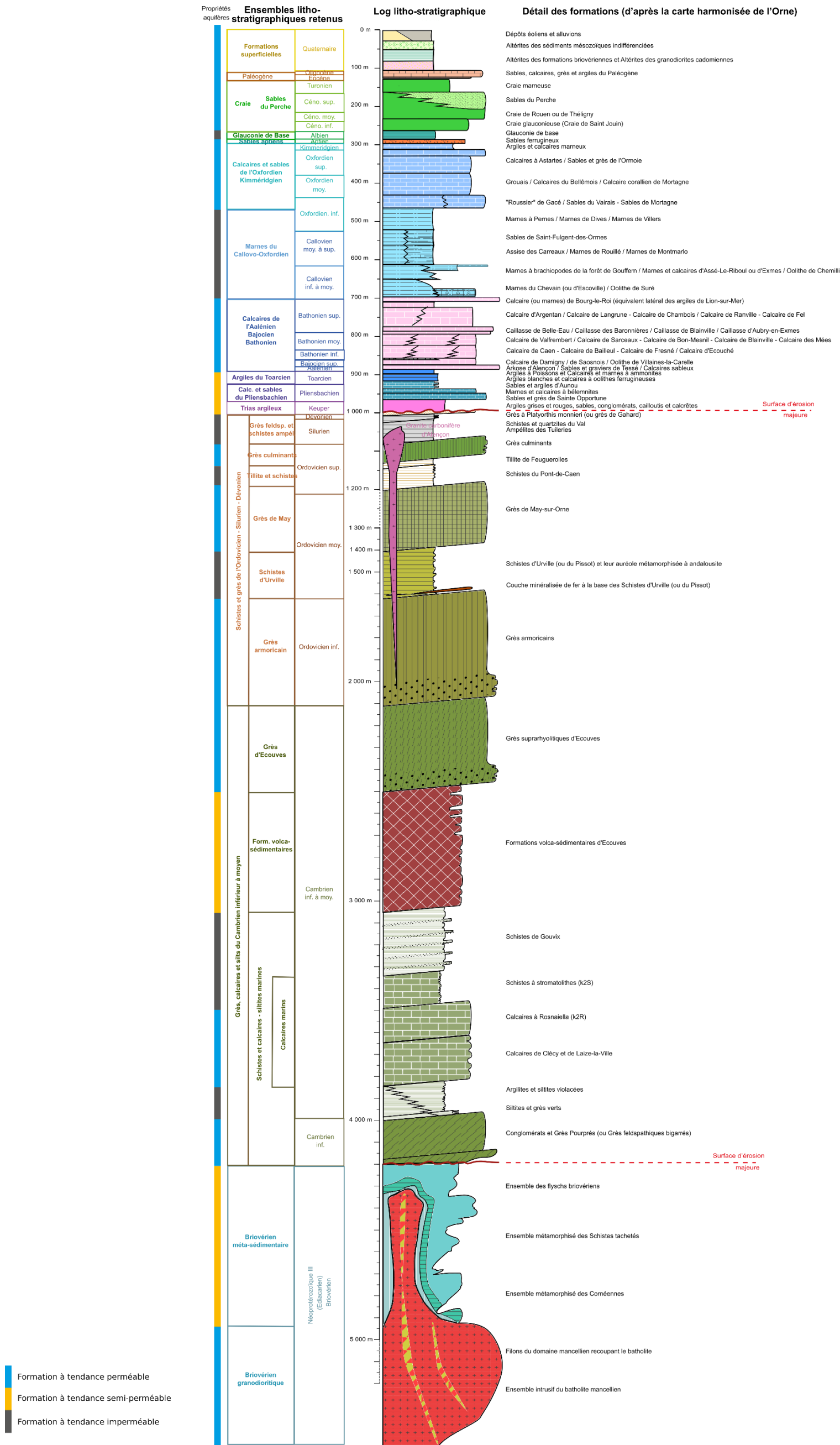


Figure 2 : Log litho-stratigraphique des formations géologiques présentes sur le département de l'Orne et événements sédimentaires et tectoniques associés (compilation bibliographique) - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR

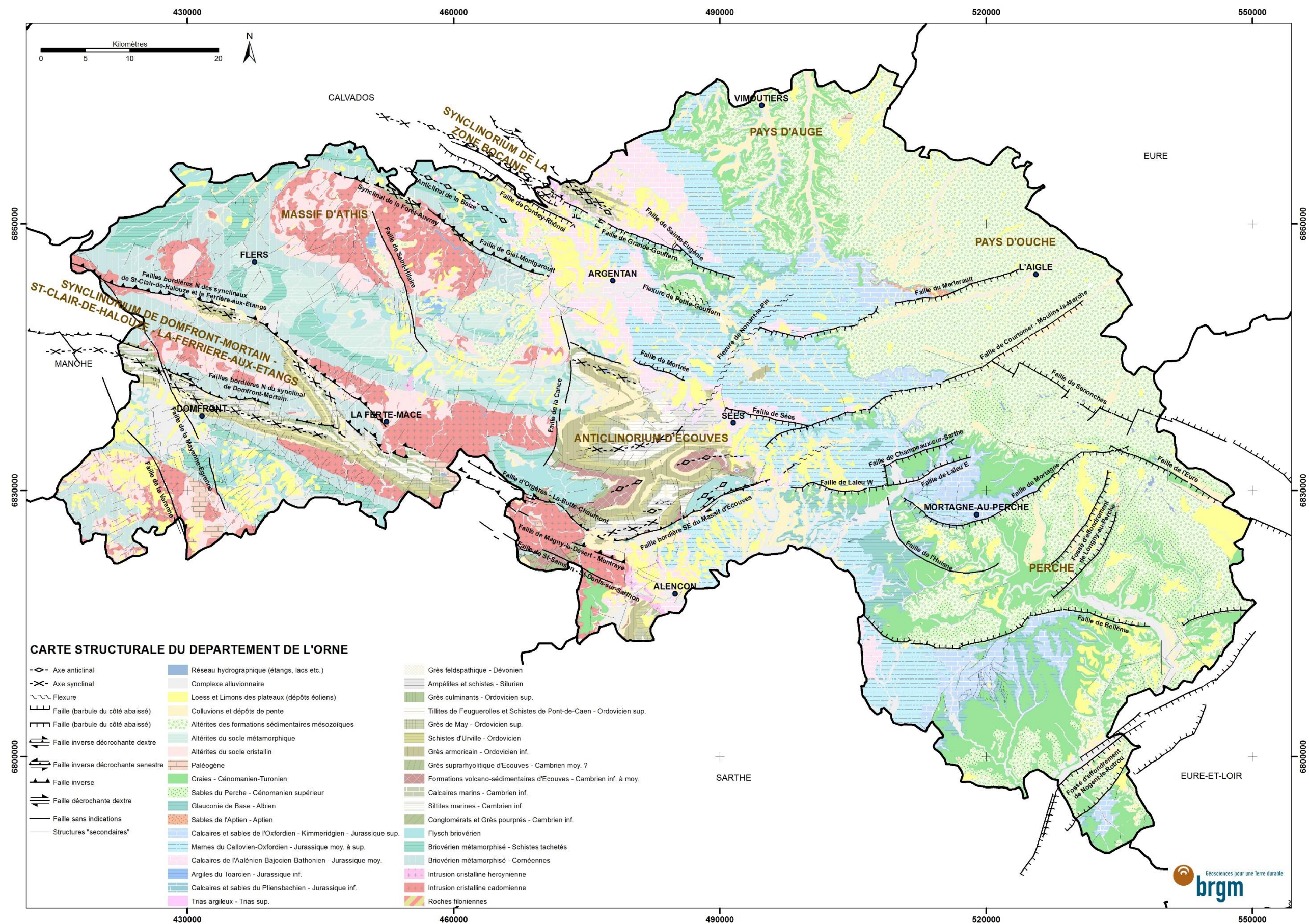


Figure 3 : Carte lithologique et structurale du département de l'Orne (compilation bibliographique) - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR

2.3. PRINCIPALES STRUCTURES

Trois grandes familles de structures géologiques sont présentes dans l'Orne :

1. Structures ONO-ESE (N100° à N130°)

- Issues de l'orogénèse hercynienne et réactivées au Mésozoïque et Cénozoïque.
- Présentes dans le Massif Armoricaire (synclinaliums, failles paléozoïques) et le Bassin Parisien.
- La continuité entre socle et couverture sédimentaire indique leur origine ancienne et leur rejeu tardif.

2. Structures sub-méridiennes (N150° à N160° et conjuguées N020°-030°)

- Failles décrochantes dextres tardi-hercyniennes (ex. : faille Mayenne-Egrenne), réactivées au Tertiaire en failles normales.
- Très fracturées et hydrauliquement conductives, influençant l'hydrographie.
- Présentes à l'ouest (socle) et à l'est (Bassin Parisien, failles courbes comme Mortagne, Bellême).

3. Structures SO-NE (N060° à N070°)

- Failles dans les terrains secondaires/tertiaires du Bassin Parisien (ex. : Merlerault, Courtomer, Nogent-le-Rotrou).
- Héritées de failles cambriennes liées à la distension post-cadomienne, réactivées ensuite.
- Jouent un rôle dans l'orientation des écoulements (ex. : vallées de la Risle amont et de l'Iton).

Remarques complémentaires :

- Les failles courbes du Bassin Parisien (Mortagne et Bellême) traduisent des rejeux de failles anciennes du socle pendant la sédimentation mésozoïque, reprises en relai plus tardivement au Cénozoïque.
- Le socle armoricaire est aussi affecté par des rejeux liés à l'ouverture de l'Atlantique et aux orogénèses pyrénéennes et alpines.
- Les formations et structures du socle cadomien très ancien (plis et failles) restent peu étudiées, contrairement aux formations paléozoïques et structures hercyniennes.

2.4. COUPES GEOLOGIQUES

Dans le cadre de la synthèse géologique et structurale, le BRGM a réalisé cinq coupes géologiques **schématiques** à l'échelle départementale (Figure 4). Ces coupes ont pour objectif de donner un aperçu sur la géométrie et de la structuration des grands ensembles lithologiques à l'échelle du département. Deux d'entre-elles sont reproduites pour illustrer cette compartimentation géométrique :

- **La coupe 2 entre Alençon et Argentan**, recoupe du Sud au Nord : le synclinorium d'Ecouvès et le batholite hercynien d'Alençon, la plaine sédimentaire de Mortrée à Argentan, et enfin le synclinal de la zone bocaine et la plaine de Trun (Figure 5) ;
- **La coupe 5 départementale NW-SE** a pour objectif de mettre en perspective les deux domaines de socle et sédimentaire (Figure 6).

Ces coupes géologiques ont été réalisées à partir de la carte géologique harmonisée du département de l'Orne et recalées à partir de l'examen de quelques forages disponibles en BSS. Les notions d'épaisseurs sont données à titre indicatif.

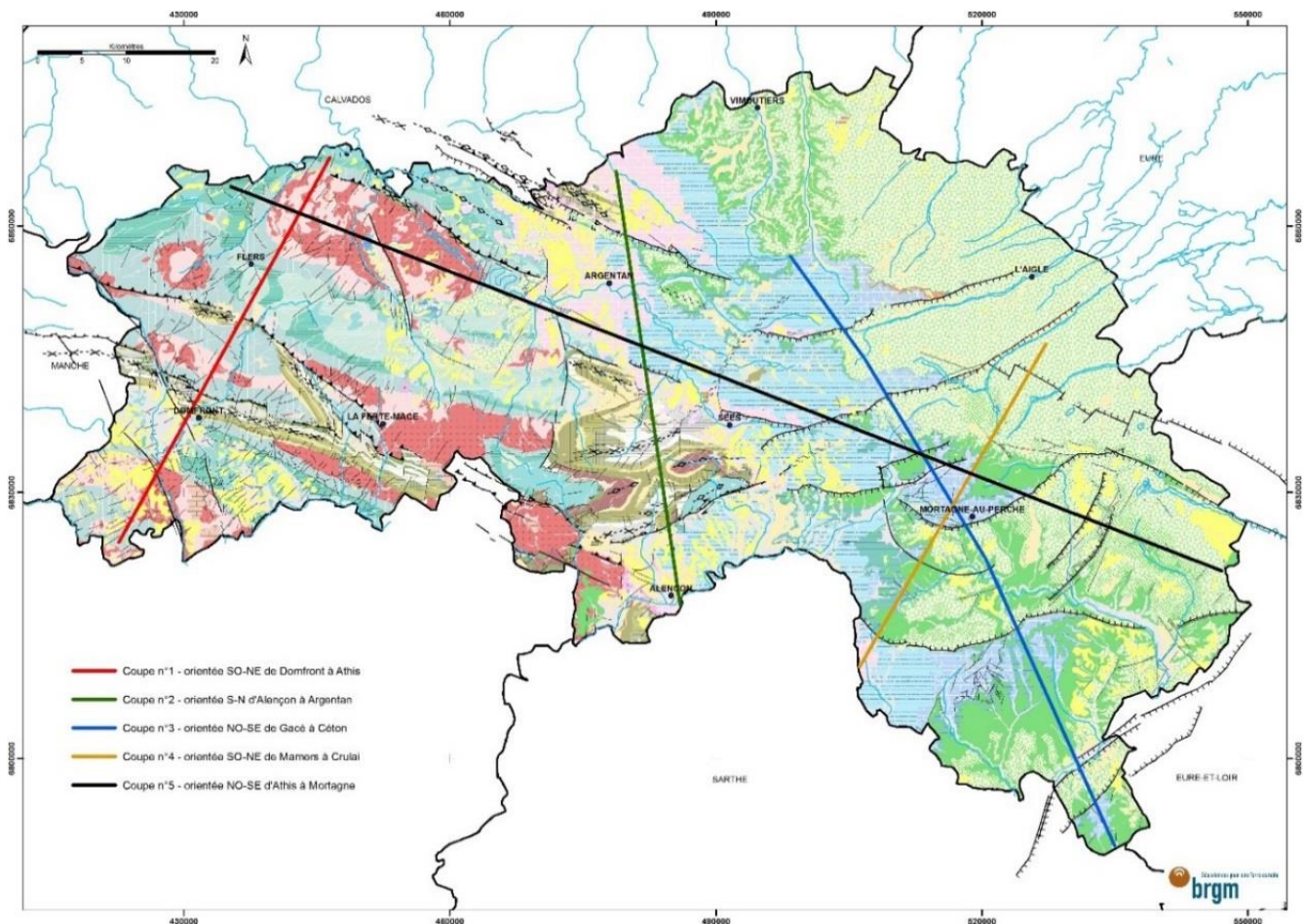


Figure 4 : Coupes géologiques produites dans le cadre du programme OAGPRO61 - Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR

Ces coupes géologiques permettent d'illustrer le fait que les principaux bassins versants du département de l'Orne sont compartimentés, géologiquement et hydrogéologiquement parlant, tant horizontalement (structures faillées ou plissées) que verticalement (superposition d'aquifères ou aquitards).

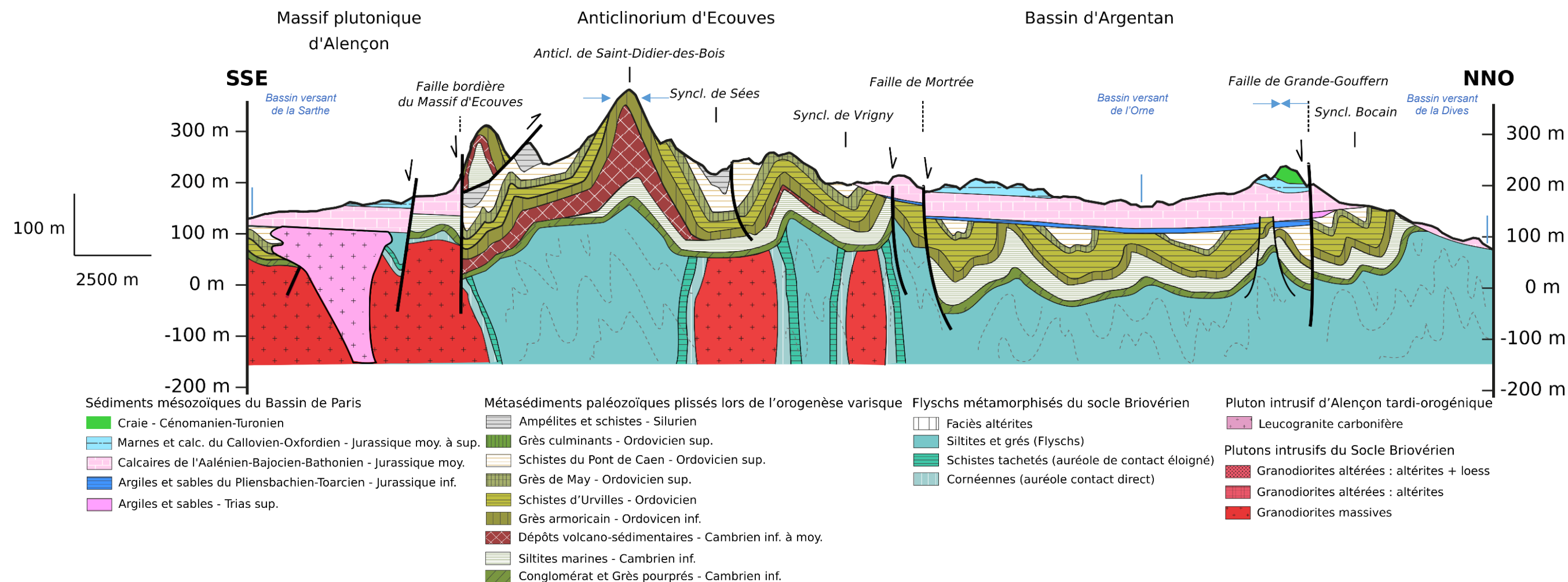


Figure 5 : Coupe Ecouves-Argentan (Coupe 2), orientée Sud-Sud-est – Nord-Nord-ouest. Exagération verticale importante

Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR

D'une manière générale, il faut rappeler qu'il s'agit de coupes schématiques : la représentation des objets géologiques et structuraux peut, dans le détail, faire l'objet de discussions notamment en profondeur : la représentation proposée couvre les 100 premiers mètres relativement bien connus, au-delà il existe des incertitudes. La courbure des failles notamment n'est pas toujours facile à représenter en l'absence de données précises sur la géométrie de ces objets complexes.

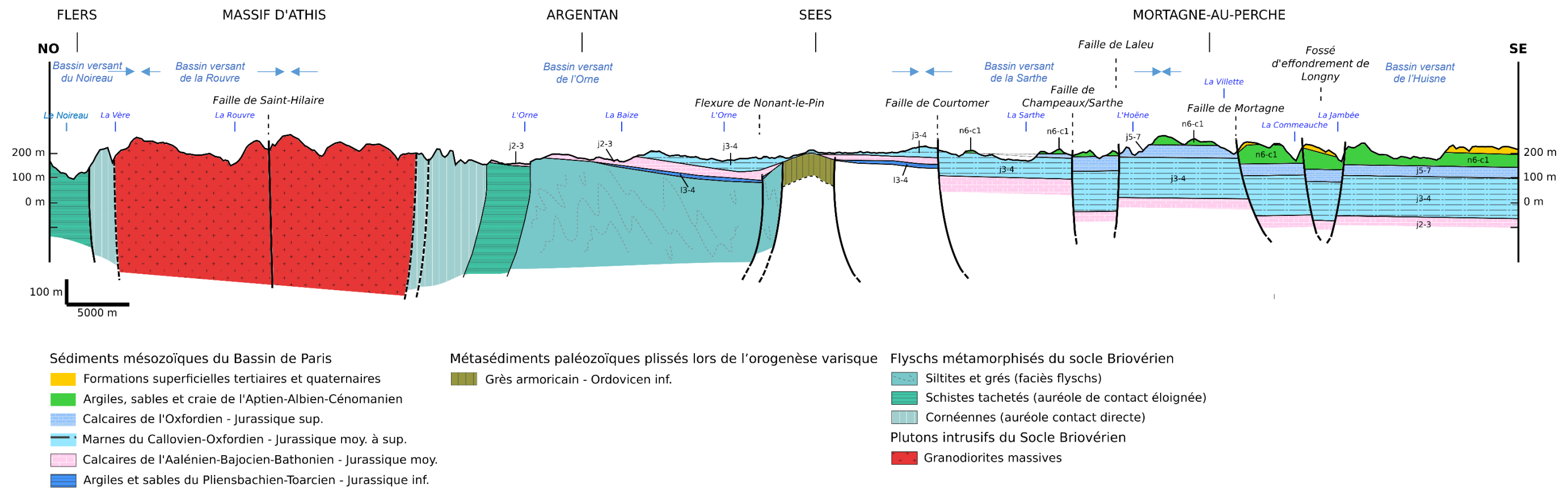


Figure 6 : Coupe géologique simplifiée NO-SE du département de l'Orne (coupe n°5), entre Flers et le Perche. Exagération verticale importante. NB : Les formations superficielles ne sont pas systématiquement représentées

Source : Rapport BRGM/RP-69292-FR

D’une manière générale, il faut rappeler qu’il s’agit de coupes schématiques : la représentation des objets géologiques et structuraux peut, dans le détail, faire l’objet de discussions notamment en profondeur : la représentation proposée couvre les 100 premiers mètres relativement bien connus, au-delà il existe des incertitudes. La courbure des failles notamment n’est pas toujours facile à représenter en l’absence de données précises sur la géométrie de ces objets complexes.

2.5. DEFINITION DES « GRANDS ENSEMBLES HYDROGEOLOGIQUES »

Dans le cadre de ce programme, le BRGM a proposé le regroupement des formations en 8 « grands ensembles géologiques et hydrogéologiques » (Figure 7). Ce découpage s'est basé sur quatre critères principaux à savoir : la lithologie, l'épaisseur des formations, leur répartition géographique, leur comportement hydrogéologique :

- Le grand ensemble « **Crétacé – Paléogène** » (en vert clair sur l'illustration suivante), qui regroupe les formations crétacées (inférieur et supérieur), les formations tertiaires et les altérites (argiles de décarbonatation de la craie, argiles à silex etc.). Basé sur des critères lithologiques, d'épaisseur et géographiques, ce grand ensemble est représenté dans la partie orientale de l'Orne, à l'est de la cuesta crétacée ;
- Le grand ensemble « **Calcaires Oxfordien** » (en bleu sur l'illustration suivante), qui regroupe les faciès calcaires et sableux du Jurassique supérieur. Ce grand ensemble est donc surtout basé sur des critères lithologiques. Il se rencontre au pied de la cuesta crétacée, dans la partie orientale de l'Orne ;
- Le grand ensemble « **Marnes Callovo-oxfordiennes** » (en violet sur la carte suivante), qui regroupe toute la série des faciès fins du Jurassique moyen à supérieur. Caractérisé principalement à partir de critères lithologiques (faciès fins), ce grand ensemble se retrouve dans la partie centre-orientale du département de l'Orne. Il constitue par exemple le sous-bassement de la plaine d'Alençon où il repose sur le leucogranite ;
- Le grand ensemble « **Calcaires de l'Aalénien-Bajocien-Bathonien** » (en orange sur la carte), qui regroupe la puissante série calcaire du Jurassique moyen. Egalement caractérisé d'après des critères lithologiques, cet ensemble caractérise le sous-bassement de la plaine de la Dives ou d'Argentan. Vers l'ouest, ce grand ensemble se retrouve la plupart du temps en discordance sur les terrains paléozoïques ou protérozoïques ;
- Le grand ensemble « **Lias** » (en noir sur la carte), qui regroupe les formations sablo-argileuses du Pliensbachien et du Toarcien. Cet ensemble a été défini sur des critères lithologiques, mais également « géographiques » car ces formations sont très peu représentées dans l'Orne, hormis sur le Massif d'Athis ;
- Le grand ensemble « **Paléozoïque** » (en marron sur la carte), qui regroupe la puissante série détritique Paléozoïque et les formations volcaniques d'Ecoutes. La répartition géographique de ces terrains à l'échelle départementale a été prédominante pour proposer leur regroupement en « grand ensemble géologique », dans la mesure où ils constituent les grands synclinaux paléozoïques bien individualisés du Massif d'Ecoutes, de Domfront-Mortain etc. ;
- Le grand ensemble « **Briovérien non ou peu métamorphisé** » (en vert d'eau sur la carte), regroupant les flyshs briovériens, le faciès « schistes tachetés » et leurs altérites associées. Ils constituent les faciès protérozoïques peu métamorphisés situés dans la partie occidentale du département ;

- Le grand ensemble « **Granitoïdes et cornéennes** » (en rouge sur la carte), regroupant les plutons granitiques et leurs altérites, avec le Briovérien « cornéifié » de l'auréole de métamorphisme de contact. Le regroupement des cornéennes avec des formations granitiques a été effectué à partir d'arguments hydrogéologiques et géographiques, dans la mesure où ces deux formations, bien que très différentes d'un point de vue lithologique (y compris pour leur forme d'altération), présentent une certaine continuité d'un point de vue hydrogéologique.

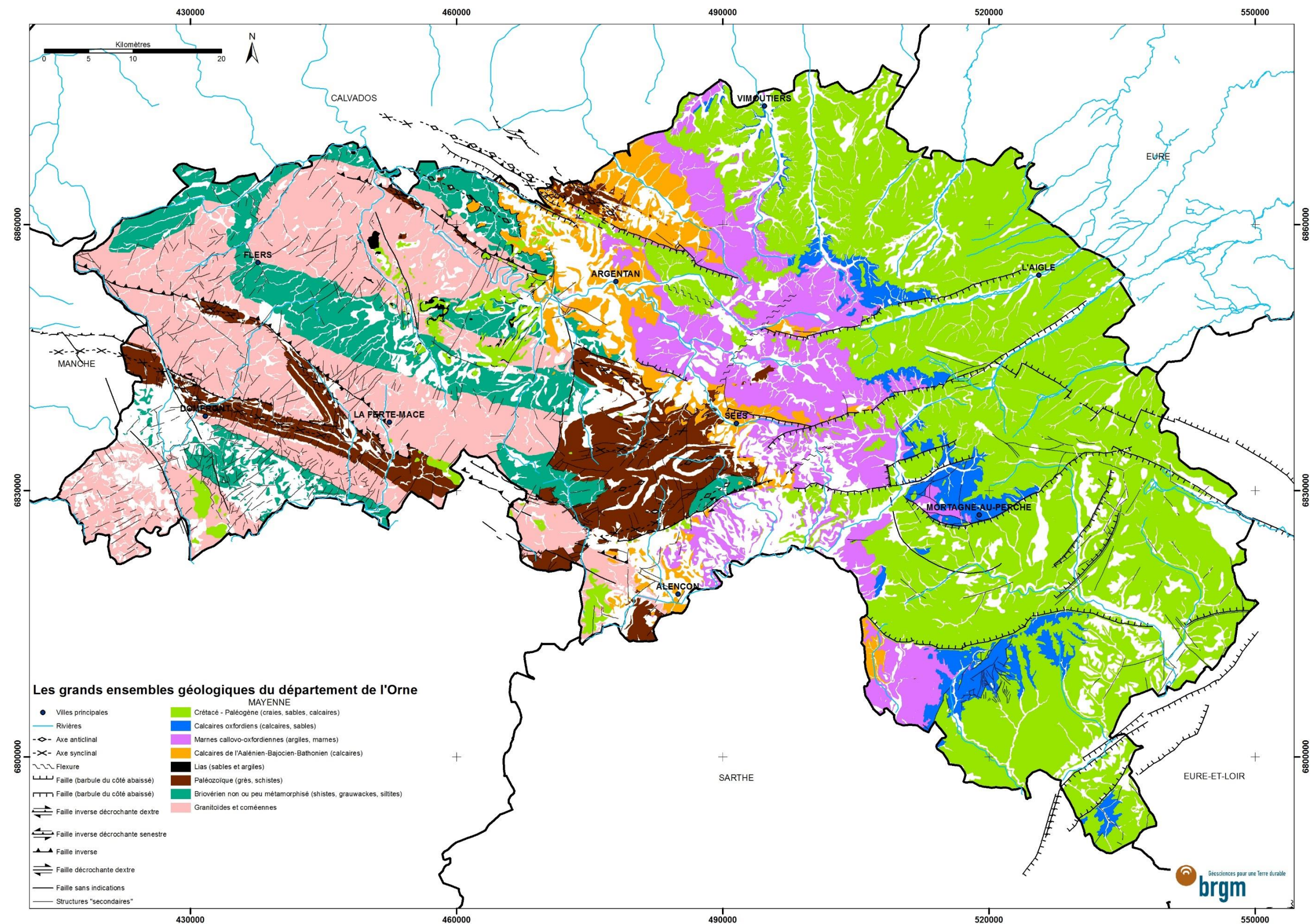


Figure 7 : Carte des « grands ensembles géologiques et hydrogéologiques », réalisée à partir de la carte harmonisée départementale de l'Orne (Rapport BRGM/RP-69292-FR)

3. Hydrogéologie

3.1. PRINCIPAUX BASSINS VERSANTS

La géologie joue un rôle déterminant dans la densité de drainage des territoires. Les roches les plus imperméables sont en effet parcourues d'un réseau dense de cours d'eau au contraire des roches qui le sont moins. Le drainage par le sol est donc plus important lorsque les roches sont très perméables (DREAL Normandie, 2015). Aussi on constate qu'un nombre de cours d'eau plus important parcourt le domaine de socle (Figure 8).

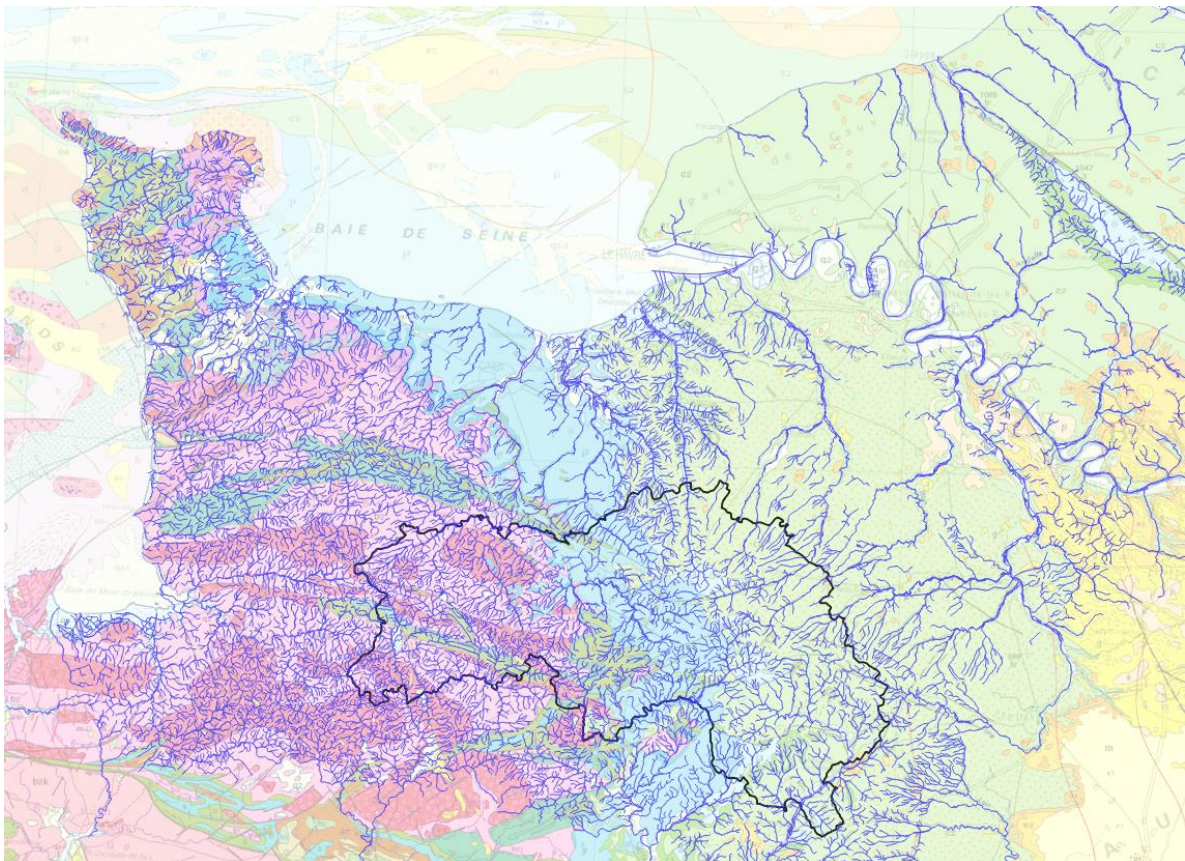


Figure 8 : Rôle de la géologie sur l'organisation et la densité du réseau hydrographique (Fond carte géologique de France au million - BRGM, BD Carthage – IGN)

Cette diversité géologique et géomorphologique s'exprime donc également du point de vue hydrologique : la plupart des cours d'eau prennent naissance en s'appuyant sur ces reliefs. Cette spécificité va mettre le département de l'Orne en position centrale par rapport aux départements voisins, notamment en ce qui concerne la répartition des ressources en eaux (Figure 9).

En effet, plus d'une dizaine de cours d'eau régionaux et supra-régionaux prennent leur source dans le département :

- fleuves côtiers normands : la Dives, la Touques, l'Orne ;
- affluents majeurs de la Seine : la Risle, l'Eure et ses affluents l'Avre et l'Iton ;
- cours d'eau du Bassin de la Loire : la Sarthe et son affluent l'Huisne, la Mayenne et son affluent la Varenne.

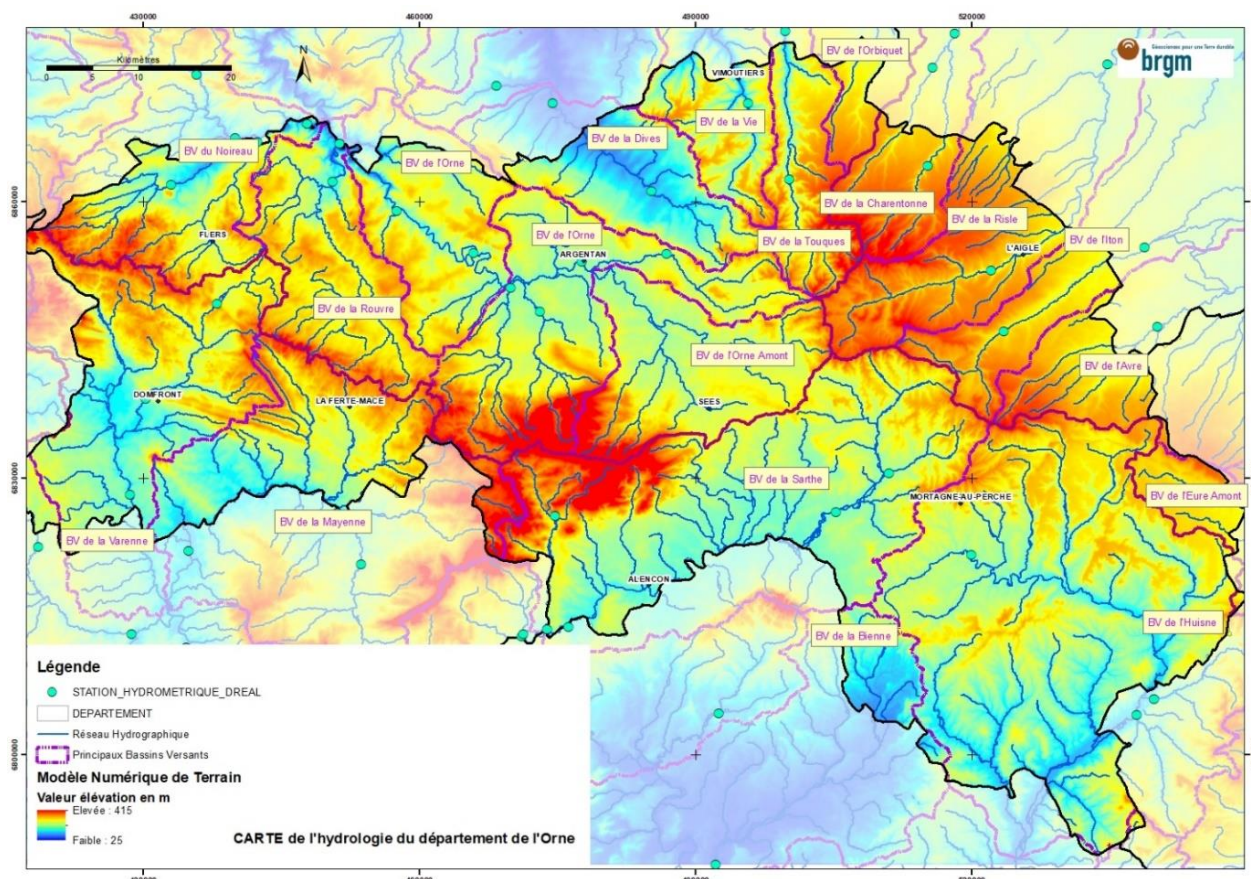


Figure 9 : Organisation des cours d'eau et bassins versants du département de l'Orne, source : MNT et BD Carthage, IGN 2018.

3.2. DEBITS CARACTERISTIQUES ET REGIMES DES COURS D'EAU

Cours d'eau	Nom Station (Code)	Taille du BV (km ²)	QMNA5 (m ³ /s)	Module (m ³ /s)	Module/QMNA5	Débit spécifique (l/s/km ²)	Débit spécifique à l'étiage (l/s/km ²)
Noireau	Cahan (I3462010)	520	0,48	6,78	14,1	13,0	0,92
Mayenne	Ambrières les Vallées - 53 (M3060910)	828	0,43	8,70	20,2	10,5	0,52
Rouvre	Segrie-Fontaine (I3352010)	301	0,19	3,35	17,6	11,1	0,63
Varenne	St Fraimbault (M3133010)	517	0,76	7,43	9,8	14,4	1,47
Orne	Rabodanges (I3131010)	995	0,64	7,60	11,9	7,6	0,64
Sarthe	St Ceneri (M0050620)	908	0,73	6,90	9,5	7,6	0,80
Avre	St Christophe - 27 (H9202020)	109	0,02	0,35	17,3	3,2	0,18
Charentonne	Trinité Réville - 27 (I0102020)	224	0,90	1,80	2,0	8,0	4,02
Dives	Beaumais - 14 (I2021010)	282	0,42	1,57	3,7	5,6	1,49
Eure	St Luperce - 28 (H9021010)	330	0,22	1,60	7,3	4,8	0,67
Huisne	Nogent le Rotrou - 28 (M0361510)	827	1,90	6,05	3,2	7,3	2,30
Iton	Bourth - 27 (H9402020)	159	0,31	1,26	4,1	7,9	1,95
Risle	Rai (I0011010)	149	0,47	1,30	2,8	8,7	3,15
Touques	Mardilly (I1011010)	87,5	0,23	0,75	3,3	8,6	2,63

Tableau 1 : Débits caractéristiques des principaux cours d'eau du département de l'Orne (source : Banque Hydro). Les lignes jaunes représentent les cours d'eau du domaine sédimentaire, en rose les cours d'eau du domaine de socle et en vert les mixtes

L'analyse du Tableau 1 ci-avant montre que les cours d'eau du domaine de socle ont les débits spécifiques les plus importants du département (10 à 15 l/s par km²). En domaine sédimentaire, les débits spécifiques des rivières sont plus faibles (5 à 9 l/s/km²). A noter : les BV de l'Avre et de l'Eure présentent des débits spécifiques très faibles qui s'expliquent par l'existence de circulations karstiques. Dans l'ensemble, la capacité de ruissellement des bassins versants du domaine de socle serait donc plus importante que celle des bassins versants du domaine sédimentaire.

L'indicateur du ratio entre module et QMNA5 montre qu'il existe un effet de saisonnalité très marqué sur les bassins versants du domaine de socle : rapport de 10 à 20 alors qu'il est de l'ordre de 2 à 4 (hors BV de l'Avre et de l'Eure) pour les cours d'eau du domaine sédimentaire (et de 10 pour les cours d'eau mixtes).

Le soutien d'étiage apporté par les eaux souterraines est plus faible en domaine de socle, ce qui explique les étiages sévères qui y sont observés quand les pluies efficaces - donc le ruissellement - sont nulles. A l'inverse, le débit des cours d'eau du domaine sédimentaire est plus régulier tout au long de l'année du fait d'une meilleure capacité d'infiltration et de stockage des pluies efficaces. Les puissantes nappes des calcaires jurassiques et de la craie apportent un soutien d'étiage plus important en valeur absolue au débit des cours d'eau⁷, voir paragraphe 3.3 suivant. A noter tout de même : certaines rivières du domaine de socle peuvent avoir des débits spécifiques estivaux plus élevés que celles drainant la nappe des calcaires jurassiques, comme la Varenne par exemple.

Ces constats sont en grande partie imputables à la géologie rencontrée sur les bassins versants, comme le montre la Figure 10 page suivante.

Du fait de son contexte géologique et géomorphologique varié et hétérogène, il existe donc une forte disparité constatée dans le fonctionnement hydrologique des principaux bassins versants du département de l'Orne.

⁷ En l'absence prolongée de précipitations, les débits des cours d'eau sont très dépendants des apports assurés par les eaux souterraines quel que soit le type de contexte sédimentaire ou de socle dans lequel on se situe. Ainsi en période estivale il est admis que le débit des cours d'eau peut dépendre à 80 voire 100% des apports assurés par les nappes (hors rejets anthropiques). En valeur absolue, cette quantité apportée par les eaux souterraines est souvent plus importante en domaine sédimentaire.

BRGM/RP-74686-FR – Rapport Final V0 – 15 septembre 2025

3.3. HYDROGEOLOGIE DES DOMAINES SEDIMENTAIRES ET DE SOCLE

3.3.1. Aquifères de socle

Un système aquifère, c'est à la fois un réservoir capable d'emmagasiner des volumes plus ou moins importants d'eau provenant des pluies infiltrées, et un conducteur permettant les écoulements souterrains et la vidange progressive du réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières.

En domaine géologique de socle ancien, cf. chapitre 2, les deux fonctions sont le plus souvent séparées (Figure 11) :

- le rôle de réservoir (fonction capacitive : emmagasinement de l'eau de pluie) est assuré principalement par l'altération de la roche en place (les « altérites » sur l'illustration ci-dessous), à porosité relativement importante mais de faible perméabilité, développée depuis la surface et pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur ;
- tandis que l'eau circule plus en profondeur surtout par le réseau de fissures et fractures existant dans l'« horizon fissuré », à porosité plus faible mais cependant significative et à perméabilité plus importante (fonction transmissive).

Dans ce contexte, les eaux souterraines sont donc situées au sein de deux compartiments hydrogéologiques superposés et en contact permanent qui constituent la majorité du réservoir aquifère du domaine de socle : celui des altérites et celui du milieu fissuré. Les roches saines, c'est-à-dire non altérées ou fissurées, sont par nature peu ou pas poreuses et considérées donc comme un milieu non ou très peu aquifère.

La présence de failles peut avoir un impact significatif sur l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques intrinsèques des réservoirs et sur la continuité des aquifères. Dans certains cas, les failles sont faiblement perméables et agissent comme des barrières hydrauliques. Dans d'autres situations, les failles favorisent la présence d'importants flux souterrains dont certains profonds. La coexistence des deux états et d'états intermédiaires est souvent observée le long des structures, ce qui a pour conséquence de rendre difficile la prévision du potentiel productif (cf. chapitre 3 du rapport BRGM/RP-69331-FR).

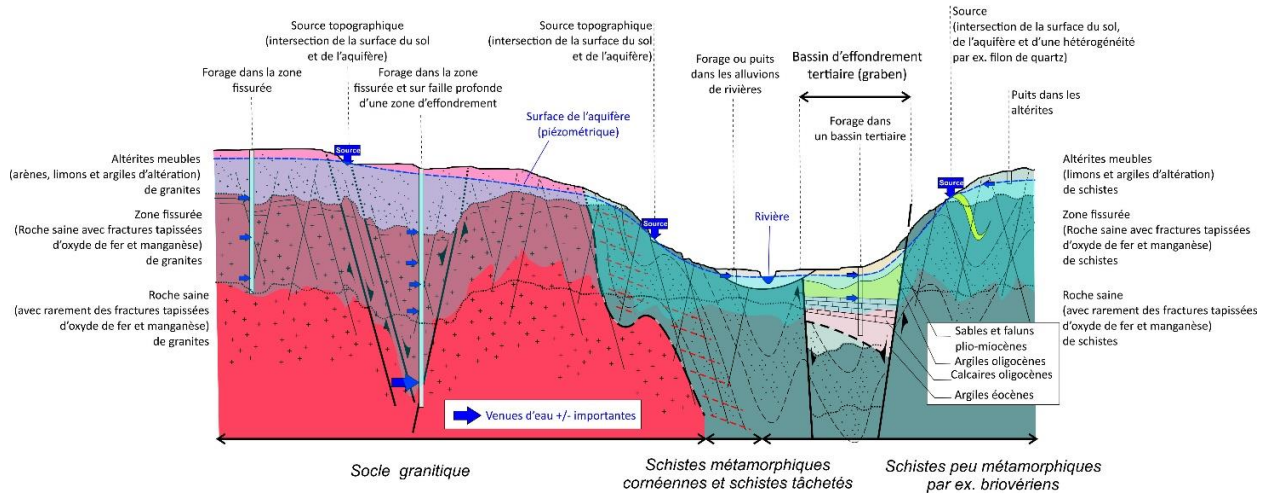


Figure 11 : Schéma conceptuel de fonctionnement des aquifères de socle (Schroetter et al., 2020⁸ d'après Wyns, 1998 et 2004)

La synthèse réalisée par le BRGM dans le volet quantitatif du programme OAGPRO61 (RP-74443-FR) a permis également de souligner que les allotérites, du domaine de socle jouaient un rôle important dans le fonctionnement des hydrosystèmes. Dans le département de l'Orne, ces allotérites sont principalement de nature argileuse mais ces dernières peuvent prendre une dominante limoneuse ou sableuse en fonction de la lithologie des roches mères sous-jacentes (Figure 12).

A titre d'exemple, on remarque que sur certains bassins versants comme celui de la Rouvre, on constate que les allotérites ont une dominante sableuse et sont peu épaisses (notamment à l'aval du bassin, sur le massif d'Athis). Cet élément pourrait expliquer en partie la faiblesse du débit spécifique rencontré à l'étiage sur ce bassin, de l'ordre de 0,6 l/s/km², caractérisant un très faible effet capacitif des unités aquifères. Sur le bassin versant de la Varenne, le secteur situé à l'Ouest de Domfront (dépression de St Gilles), au niveau de la jonction avec l'Egrenne, disposerait à l'inverse d'allotérites épaisses⁹ et à dominante argilo-sableuses. Ce cours d'eau possède à l'inverse le meilleur débit spécifique à l'étiage de la zone armoricaine (cf. paragraphe 3.2).

Ces informations nous ont permis de faire l'hypothèse du rôle capacitif assuré par ces allotérites épaisses et à dominante argileuses.

⁸ Schroetter J.-M., Boisson A., Lucassou F., Bardeau M., Bader A.-G., Beccaletto L., Ouerghi Y., Dewandel B. et Tourliere B., 2020, ANAFORE : ANALYse multicritère des données de FORages les plus productifs de bretagne : Cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine, 21ème Carrefour de la gestion de l'eau, Rennes.

⁹ Secteur de St Gilles des Marais connaît également un comblement partiel (remplissage de graben) par des formations plio-quaternaires, utilisées historiquement pour la création de poteries et grès.

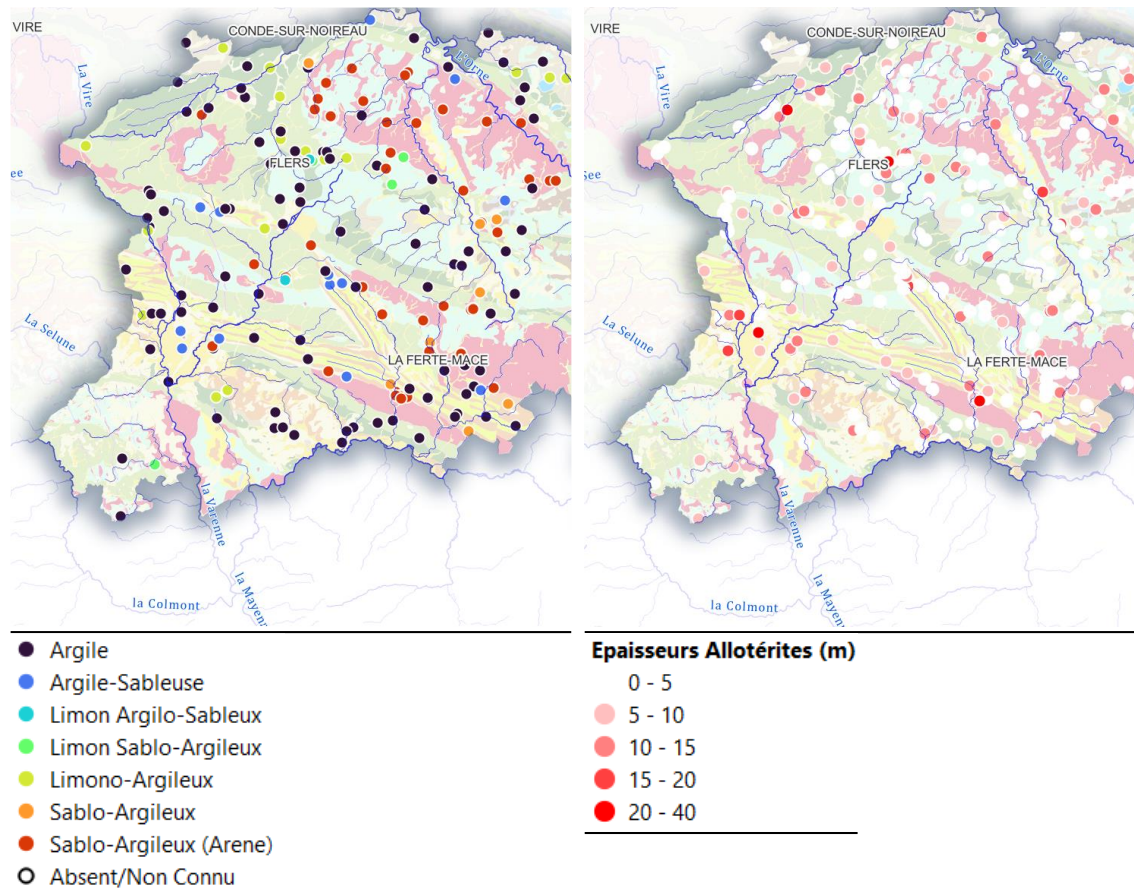


Figure 12 : Extrait cartographique de la nature et épaisseur des allotérites du domaine de socle du département de l'Orne (source : BRGM/RP-74443-FR)

Pour les besoins de cette synthèse hydrogéologique, réalisée à l'échelle départementale, ont été retenues les hypothèses suivantes, qui expriment un cas général de fonctionnement des aquifères de socle décrit dans la littérature¹⁰. Ainsi, ces aquifères de socle peuvent être considérés, à grande échelle, comme :

- des aquifères **continus** multicouches ;
- libres ;
- connectés au réseau hydrographique de surface (cours d'eau et zones humides) ;

¹⁰ Lachassagne P., Wyns R., Bérard P., Bruek T., Chéry L., Coutand T., Desprats J.-F., Lestrat P. (2001) - Exploitation of high-yields in hard-rock aquifers : downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. Groundwater, vol.39, (4), pp.568-581.

Caballero Y., Wyns R., Miehe J.-M., et collab. (2007) - Estimation de la réserve en eau souterraine participant au soutien d'étiage des rivières, dans le socle granitique de corse. Application au bassin versant du haut-Rizzanese. Rapport final. BRGM/RP-55121-FR, 105 p., 65 ill., 1 ann.

Mougin B., Allier D., Blanchin R., Carn A., Courtois N., Gateau C. Putot E., avec la collaboration de Jegou J.P., Lachassagne P., Stollsteiner P. et Wyns R. (2008) – SILURES Bretagne – Rapport final – Année 5 - BRGM/RP-56457-FR. 129 p., 37 ill., 7 ann. dont 2 planches.

Allier D., Chrétien P., Laurencelle M. (2021) – Définition de niveaux piézométriques statistiques dans la Sarthe. Phase 1 : contexte hydrogéologique et dynamique des nappes des bassins versants sélectionnés. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-70350-FR, 120 p., 46 ill., 8 tabl., 4 ann.

- caractérisés par un niveau piézométrique peu profond.

Ainsi, dans le cas général, les eaux souterraines des aquifères de socle du département de l'Orne sont connectées au réseau hydrographique de surface et contribuent à l'alimentation des cours d'eau et des zones humides (rivières drainent la nappe).

Important : Il convient toutefois de rappeler que **plusieurs volets du programme OAGPRO61 (synthèse hydrogéologie, étude qualitative, piézométrique et quantitative) ont documenté ou mis en évidence des fonctionnements hétérogènes des aquifères de socle, liés à :**

- la **structure lithologique (complexe) des différentes formations en contact dans un même bassin versant**, et leurs caractéristiques hydrogéologiques associées, le cas des séquences de flyschs, des batholithes et leurs auréoles de métamorphisme rencontrées dans les bassins de la Rouvre et du Noireau au Nord-Ouest du département et de celles de la Mayenne et de la Varenne au Sud-Ouest, est un bon exemple pour illustrer la diversité lithologique et hydrologique et donc de la nécessité d'étudier les portions de bassins versants ou affluents pour pouvoir caractériser plus finement leur fonctionnement ;
- la **présence de nappes captives**, liées à la présence d'altérites épaisses et argileuses (comme décrit plus haut dans ce chapitre) ou au sein de formations géologiques multicouches plissées comme celles du Paléozoïque ;
- la **présence de circulations d'eaux profondes**, comme le démontre par exemple la présence d'eaux thermales à Bagnoles de l'Orne et ses environs, en forêt d'Andaine ;
- la **présence de décalages entre réseau hydrographique et piézométrique**, sous l'effet de discontinuités lithologiques, vraisemblablement au niveau de contacts structuraux.

Il conviendra donc d'être prudent dans l'approche des différentes études qui pourront utiliser les données et informations fournies dans cet Atlas. Celles-ci nécessiteront parfois, en fonction des enjeux et objectifs, de déconstruire le cas général pour rentrer dans des cas plus spécifiques.

3.3.2. Aquifères sédimentaires

Dans le département de l'Orne, les aquifères sédimentaires sont composés des formations poreuses calcaires, sables, grès, craie appartenant au Bassin Parisien (cf. chapitre 2). On les distingue des aquifères alluviaux constitués par les matériaux déposés par les cours d'eau dans leurs vallées : sables et graviers, intercalés dans des niveaux argileux ou de limons fins. Ces derniers sont par ailleurs étroitement liés aux cours d'eau et sont le support de leur nappe d'accompagnement.

Les aquifères sédimentaires du département de l'Orne traitées dans le cadre du programme OAGPRO61 sont : les formations de l'Aalénien-Bajocien-Bathonien (Dogger), les formations de l'Oxfordien-Kimméridgien et les formations du Crétacé supérieur (Craie et Sables du Perche). Dans les bassins versants du centre et l'Est du département de l'Orne, ces aquifères supportent des nappes libres (au niveau de leur zone d'affleurement) et captives (sous recouvrement, en fonction de leur situation géologique ou géomorphologique. Exemple du Bajocien-Bathonien captif sous les formations marneuses calloviennes).

Les nappes libres communiquent avec la surface, l'eau percole jusqu'à la nappe dont le niveau monte ou baisse en fonction des précipitations. Elles se renouvellent rapidement (Figure 13).

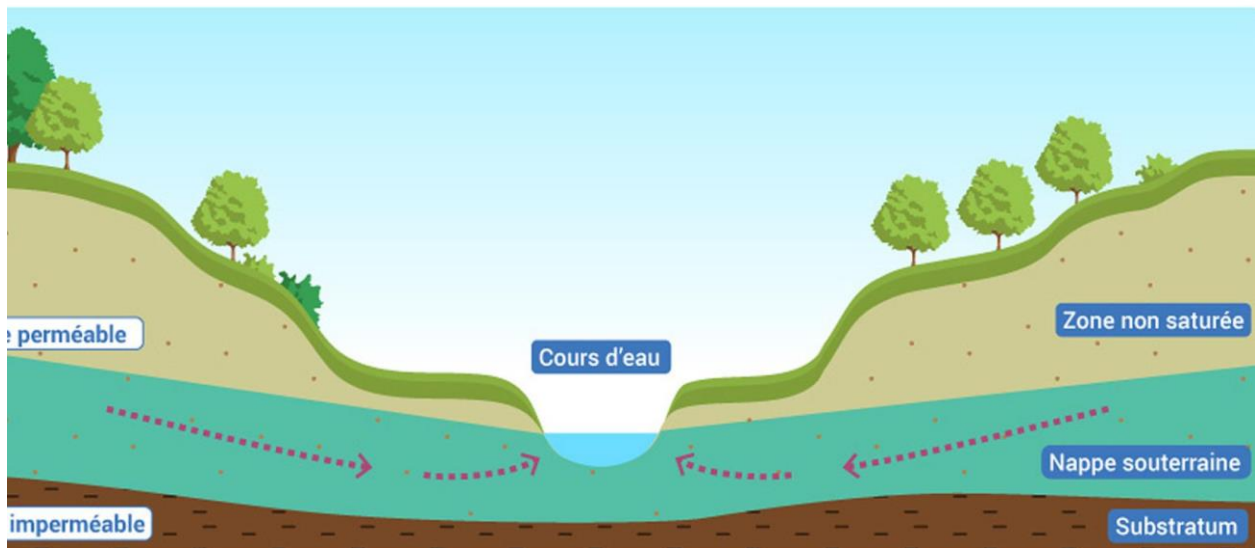


Figure 13 : Configuration d'une nappe libre, drainée par un cours d'eau
source : <https://www.eaufrance.fr/les-eaux-souterraines-des-systemes-dynamiques>

Les nappes captives sont limitées par la présence de formations imperméables au toit de l'aquifère. L'eau se renouvelle lentement, par les zones d'affleurements (parfois éloignées) ou par transfert limité avec les formations situées au-dessus ou en dessous. Le niveau des nappes captives est supérieur à celui du toit de l'aquifère : l'eau souterraine est maintenue sous pression sous le mur (la base) de la couche imperméable sus-jacente.

La perméabilité est due à l'existence d'une porosité efficace, c'est-à-dire à l'existence de vides interconnectés. Selon le type de porosité, il existe une perméabilité « en petit » (circulation dans les pores de la matrice rocheuse) et une perméabilité « en grand » (circulation dans les fissures, fractures, karsts...) qui peuvent cohabiter au sein d'une même roche (craie fissurée ou karstique par exemple).

Les formations sédimentaires carbonatées du département de l'Orne connaissent en effet le développement d'une karstification, en particulier celles de la craie à l'Est du département comme en témoigne la Figure 14 suivante. Cette caractéristique va impacter l'ensemble des propriétés hydrodynamiques¹¹ des formations et accentuer la vulnérabilité des eaux souterraines (mise en contact rapide des eaux de surface avec les eaux souterraines et vitesses de circulation souterraines plus élevées). Attention, la karstification ne se limite pas aux seules formations crayeuses. Bien que les indices soient encore mal référencés à l'échelle départementale, ces phénomènes ont pu également être décrits dans les formations carbonatées jurassiques (ex. du secteur de Radon au Nord d'Alençon). Elles sont même connues dans les calcaires paléozoïques ou précambriens dans les départements du Calvados et de la Manche voisine.

¹¹ il s'agit de paramètres physiques définissant quantitativement le comportement d'un milieu ou d'un corps conducteur vis-à-vis d'un fluide, c'est-à-dire son aptitude à le contenir, à permettre son écoulement et à régir les propagations d'influence. Les principaux paramètres régissant l'écoulement des eaux souterraines en hydrogéologie sont la transmissivité, la perméabilité, le coefficient d'emménagement ou la porosité efficace.

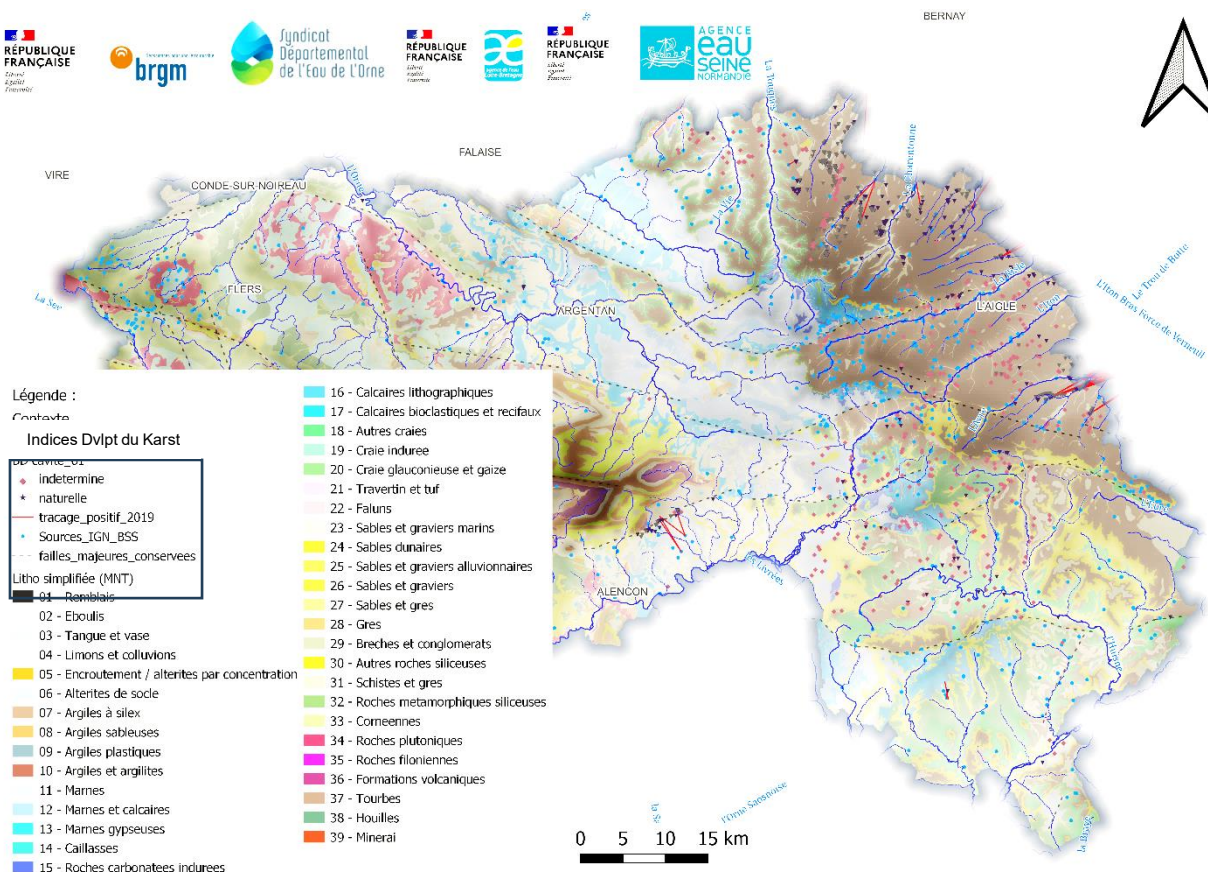


Figure 14 : Indices de développement du karst dans le département de l'Orne (BRGM/RP-69331-FR)

A l'image de la mise en garde adressée aux utilisateurs de cet atlas concernant les aquifères du domaine de socle, il conviendra à nouveau d'être prudent dans l'approche à retenir dans les études qui pourront utiliser les données et informations générales fournies dans cet Atlas. En effet, **il faut garder en mémoire que les unités géologiques supports des aquifères sédimentaires sont également hétérogènes** comme le montre la Figure 15 suivante (exemple avec nappe captive, coexistence de plusieurs sous-unités hydrogéologiques).

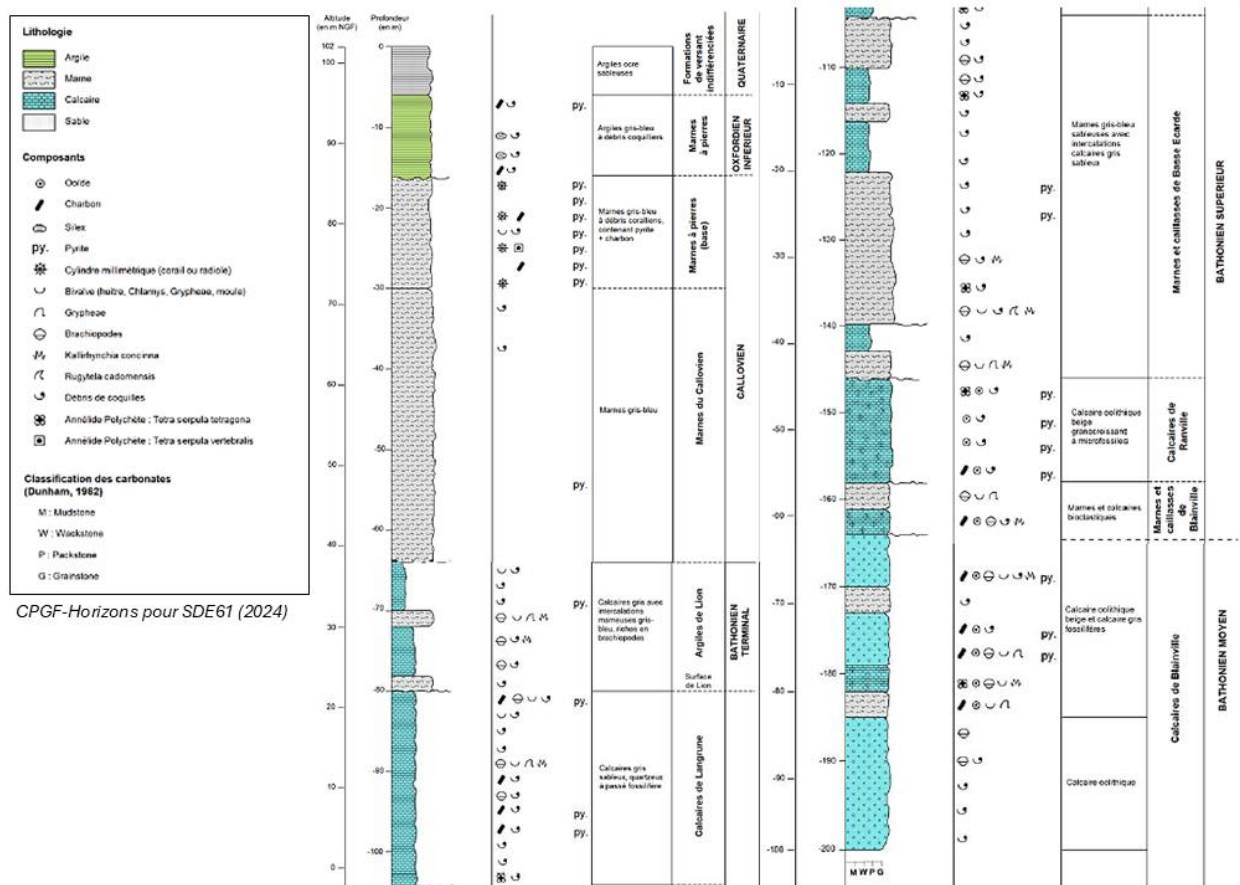


Figure 15 : Coupe géologique détaillée des formations bathoniennes rencontrées dans un forage géothermique réalisé sur le secteur de Vimoutiers (source SDE61)

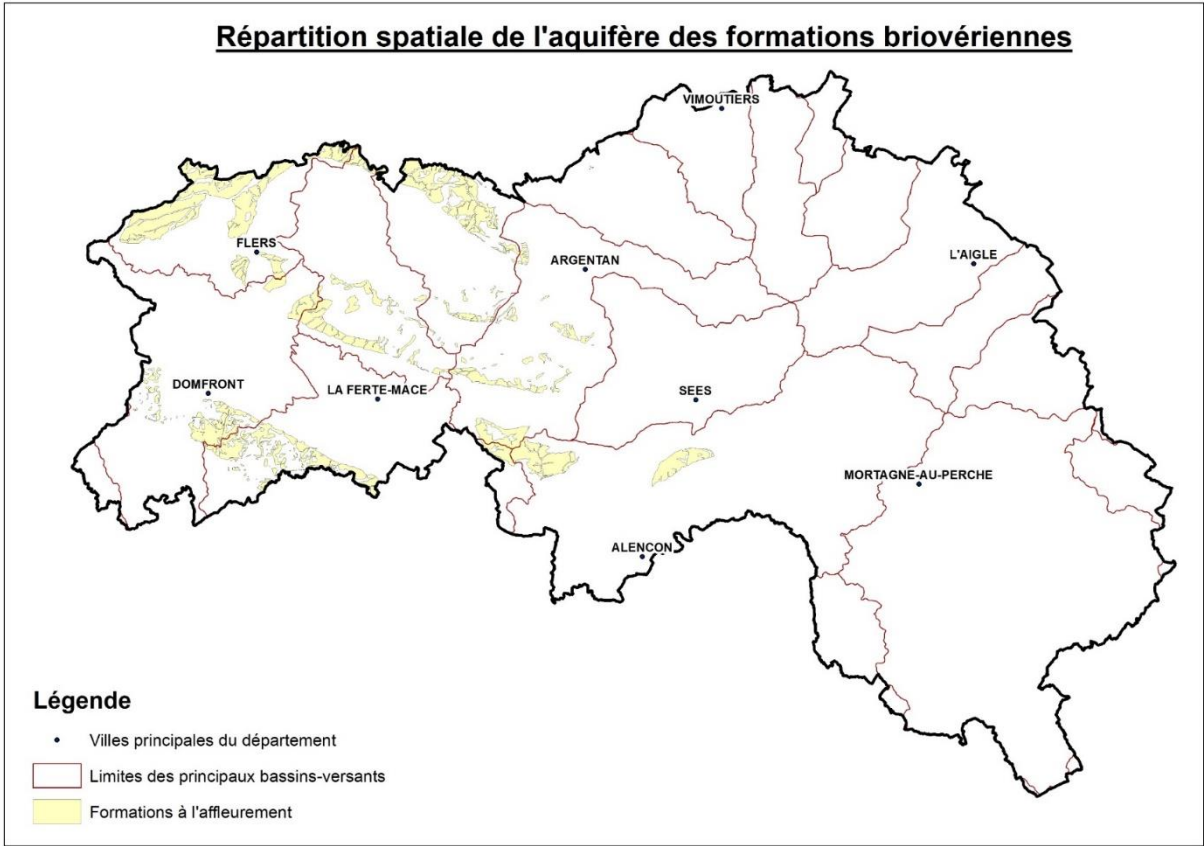
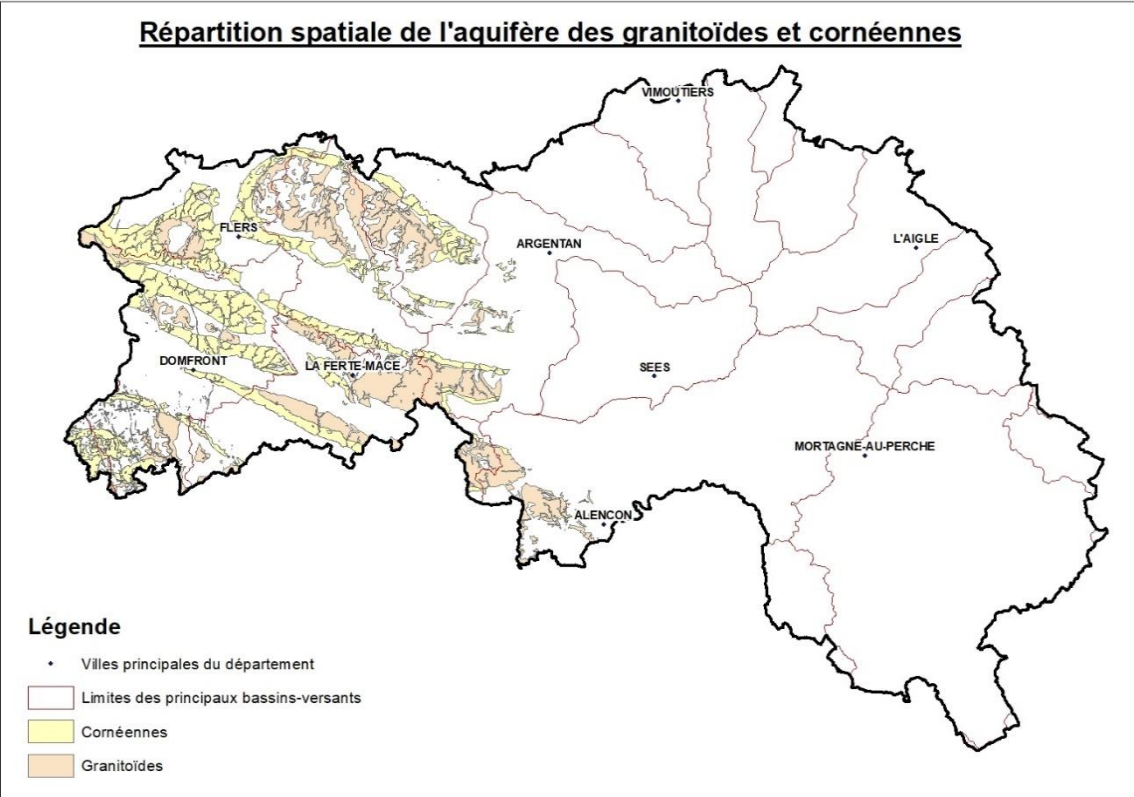
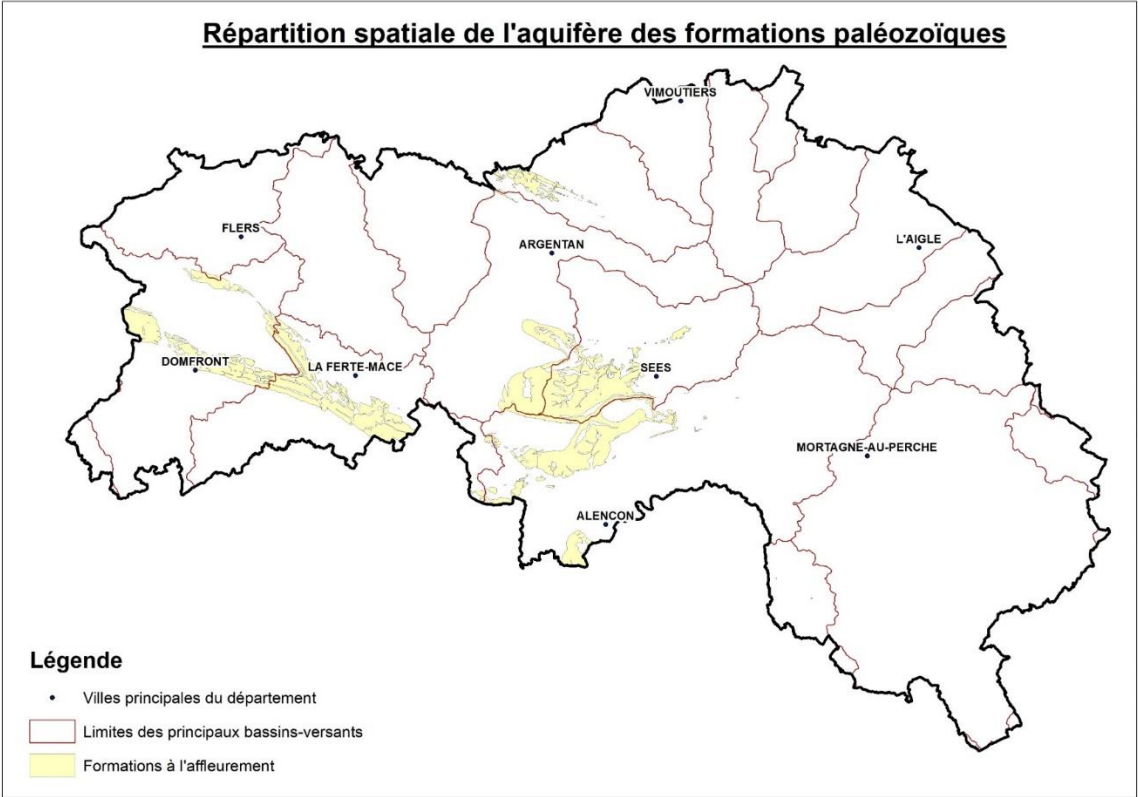
Cette information importante nécessitera parfois, en fonction des enjeux et objectifs retenus dans les études, de **déconstruire le cas général pour rentrer dans des cas plus spécifiques, pour ne pas considérer systématiquement les aquifères sédimentaires comme homogènes**. Plusieurs volets du programme OAGPRO61 (synthèse hydrogéologie, synthèse qualité des eaux, piézométrie et quantitative) ont également documenté ou mis en évidence des fonctionnements hétérogènes des aquifères sédimentaires qui peuvent impacter la dynamique des nappes exploitées et leur vulnérabilité.

3.3.3. Synthèse des connaissances actuelles

Les principales informations relatives aux grands ensembles aquifères du département de l'Orne, qui ont pu être mis en avant dans ce programme (rapport RP-69331-FR) ont été regroupées ci-après sous forme de tableau, voir page(s) suivante(s).

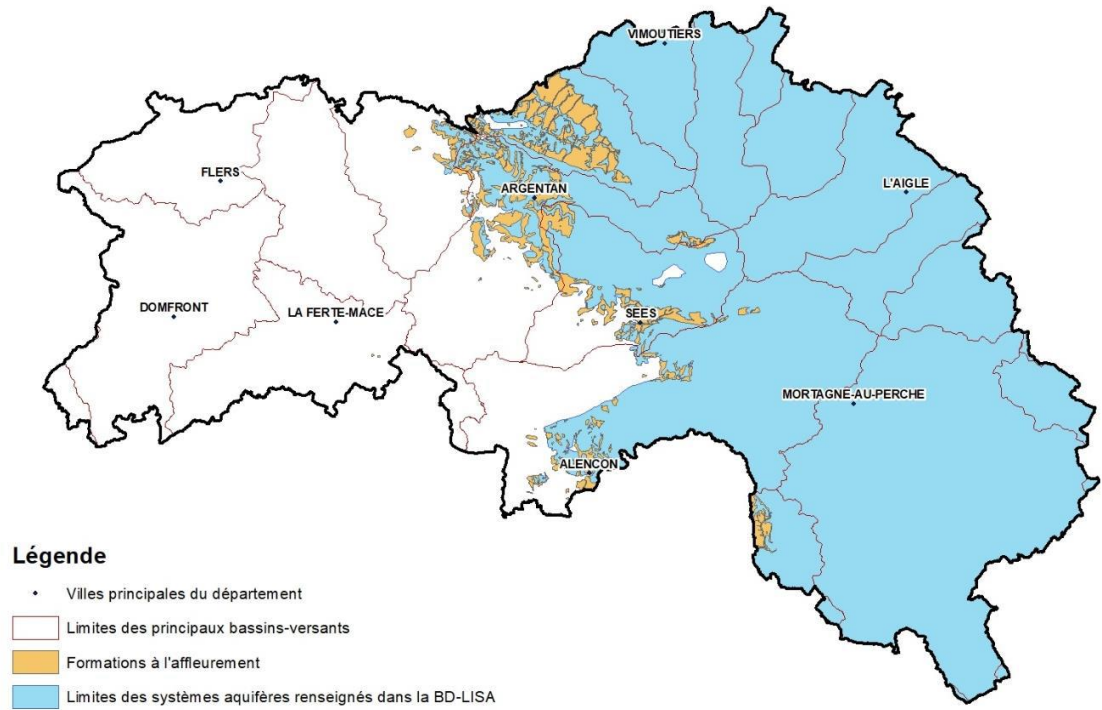
Attention : Ces informations ne sont données qu'à titre indicatif, cette synthèse reposant sur l'analyse bibliographique d'éléments non vérifiés, issus principalement de programmes de recherche en eau potable, donc caractérisant *a priori* les zones les plus productives.

EN BREF	Formations Paléozoïques	Flyschs Briovériens	Granitoïdes et Cornéennes
Géométrie et principales caractéristiques lithologiques	• Structures plissées et fissurées ; • Formations gréseuses : rôle aquifère important si fissuré ; • Formations schisteuses moins perméables ; • Développement de la ressource dans les zones fissurées ; • Réservoirs puissants mais peu étendus, géométrie complexe ;	• Réservoirs très déstructurés et discontinus ; • Nappe dans les altérites et roches fissurées ;	• Horizons productifs : arènes, altérites (faiblement) et zones fissurées (potentiel plus intéressant en forage) ; • Horizon fissuré dépendant de la densité de fracture et du niveau de connexion entre les fractures ;
	De manière générale réservoirs compartimentés : • Roche non altérée et non fissurée = peu perméable et donc pas ou peu aquifère ; • Horizon superficiel de l'aquifère = zone de stockage peu mobilisable mais ressource peut être importante ; • Horizon fissuré/fracturé de l'aquifère (discontinu) = zone plus transmissive et donc plus exploitable en forage ;		
Ecoulements	• Ecoulements se fait principalement dans le sens du pendage ou des axes fissurés ; • Nappe libre au niveau des zones d'affleurement ; • Nappe captive sous recouvrement ;	• En superficie : écoulement libre suivant la topographie ; • Zones fissurées : écoulement plus difficile à appréhender ; • Nappe pouvant être captive sous les altérites ;	• Horizon superficiel : écoulement suivant la topographie ; • Horizon fissuré : fracturation joue le rôle de drain ; • Nappe captive à semi-captive dans les horizons fissurés sous les formations d'altération ;
Fluctuation du niveau des nappes	• Nappe de faible profondeur, faibles variations des niveaux • Bordure des synclinaux : variations rapides pour la recharge et la vidange et amplitude entre les basses et les hautes eaux relativement faibles (inf. 10 m) • Nappe captive : artésianisme peut se manifester avec une charge ascensionnelle importante (pouvant dépasser les 100 m)	• Formations superficielles : niveau statique proche du sol et varie peu ; • En vallée, nappe sub-affleurante et faibles variations des niveaux ; • Sur les coteaux : niveaux plus profonds et variations entre 5 et 7 m entre les hautes et basses eaux ; • Horizons fissurés : nappe peut être captive et être en charge et donc artésienne sous les formations superficielles/d'altération ;	• Formations généralement libres très réactives aux pluies ; • En vallée, nappe sub-affleurante et faibles variations des niveaux ; • Sur les reliefs, nappe pouvant être profonde et variations de quelques mètres entres les hautes et les basses eaux ; • Horizons fissurés : nappe peut être captive et être en charge et donc artésienne sous les formations superficielles/d'altération ;
	• Cycles annuels forts ; • Nappes faiblement inertielles avec un « effet mémoire » limité ; • Cycles pluriannuels plus « faibles », correspondant majoritairement à l'oscillation Nord-Atlantique (ONA, 6-8 ans) ;		
Paramètres Hydrodynamiques et productivité	• Débits exploités très variables (entre 10 et plus de 100 m³/h) • Milieux très hétérogènes • Transmissivité entre 10⁻³ et 10⁻⁴ m²/s • Coefficient d'emmagasinement : non évalué mais probablement faible	• Productivité très variable (10 à plus de 100 m³/h) ; • Horizons superficiels : transmissivité entre 10⁻⁵ et 10⁻⁸ m²/s ; • Horizons fracturés : transmissivité entre 10⁻³ et 10⁻⁴ m²/s et coefficient d'emmagasinement de 0,1 à 0,2 % ;	• Altérites et arènes : débits très modestes, pas plus de 10 m³/h ; • Cornéennes et granites fissurés : débits variables, de 10 à 100 m³/h ; • Cornéennes et granites fissurés : transmissivité entre 10⁻³ et 10⁻⁴ m²/s ; • Emmagasinement faible, non évalué ;
Conditions d'alimentation et recharge	• Surface à l'affleurement = 170 km² pour les formations gréseuses et 300 km² pour les formations schisteuses ; • Alimentation par infiltration des précipitations sur les zones d'affleurement et via les zones fissurées/fracturées et par drainance descendante depuis les horizons supérieurs ; • Période de recharge : Novembre-Février ;	• Surface à l'affleurement = 130 km² ; • Formations superficielles/d'altération : alimentation par infiltration des précipitations ; • Réservoir souterrain : alimentation par infiltration des précipitations sur les zones d'affleurement, via les fissures/fractures et par drainance descendante depuis les formations superficielles/d'altération ; • Période de recharge entre Décembre et Mars ;	• Surface à l'affleurement = 750 km² environ (370 Batholite et 380 Cornéennes) ; • Formations superficielles/d'altération : alimentation par infiltration des précipitations ; • Réservoir souterrain : recharge par infiltration via les fissures/fractures et par drainance descente depuis les formations superficielles/d'altération ; • Recharge annuelle d'Octobre à Février ;
	• Remplissage et vidange très prononcés marquant l'effet d'une double porosité, ressources pouvant être sensibles aux déficits hydriques importants (en particulier les horizons superficiels) ;		
Autres caractéristiques	• Développement de karsts possibles dans les formations carbonatées (ex : calcaires cambriens, zone bocaine uniquement) ; • Drainage minier sur certains secteurs ;	Rôle majeur pour ces aquifères des zones d'altération et de la fracturation (+connexions entre les fissures)	
	• La productivité des aquifères situés dans les formations de socle dépend en grande partie de la fracturation et fissuration des roches, mais également de la présence ou non d'une formation d'altération. Ainsi les formations fortement fracturées et surmontées d'une épaisse zone d'altération (jusqu'à plusieurs dizaines de mètres) présentent un meilleur potentiel de productivité. En effet, la présence de la zone d'altération permet de stocker l'eau et de réalimenter efficacement la nappe via le réseau de fractures dans lesquelles l'eau circule. En dehors de ces zones, les roches saines sont peu productives (faible circulation de l'eau et pas de stockage). • Les arrivées d'eau profondes (30-100 m) sont généralement de bonne qualité car protégées des pressions anthropiques (dénitrification naturelle ou captivité sous les altérites), à l'inverse les horizons superficiels sont généralement plus vulnérables et les ressources de moins bonne qualité ; • Certaines directions de fracturation et les zones de contacts lithologiques sont généralement plus productives. Des alimentations profondes peuvent être possibles pour ces aquifères mais ces phénomènes sont encore mal connus (ex : sources thermales au contact entre le granite et faille N120-N140 du synclinal paléozoïque de Domfront) ;		

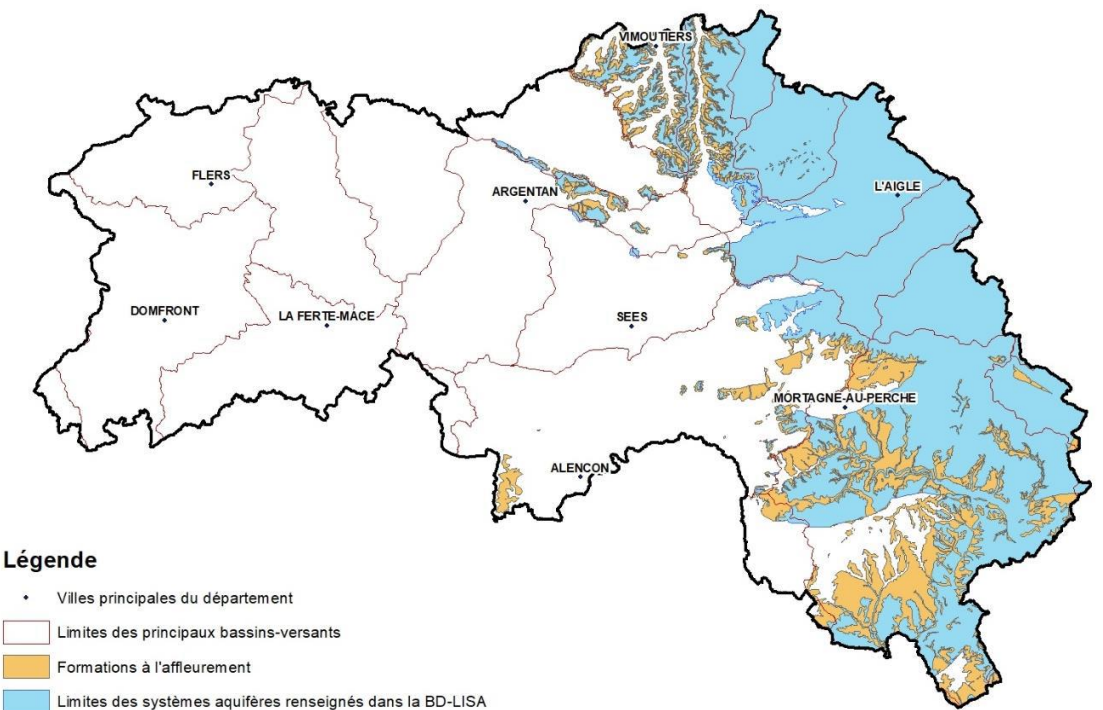


EN BREF	Bathonien-Bajocien		Oxfordien-Kimméridgien	Craie Cénomanien et Turonien	Sables du Perche
Géométrie et principales caractéristiques lithologiques	• Formations à dominante calcaire ; • Epaisseur modeste à l'ouest du département et de plus de 100 m à l'est ;	• Principalement des formations calcaro-sableuses ; • Aquifère très compartimenté ; • Mur de l'aquifère : marnes à pernes ; • Toit de l'aquifère : formations argilo-sableuses de l'Aptien-Albien ; • Epaisseur total pouvant dépasser les 100 m ;	• Puissance du réservoir modeste (mais atteint 60 m au SE de l'Orne) ; • Double voire triple porosité = fissures/karst + pores des craies ;	• Constitués de sables plus ou moins argileux ; • Mur de l'aquifère : faciès argileux de la Craie de Rouen ; • Toit de l'aquifère : altérites à silex ou craie marneuse turonienne ; • Extension mal connue ;	
	• Développement de karsts dans ces formations ; • Influence des karsts sur la piézométrie et les écoulements des nappes mal connue ;				
Ecoulements	• Nappe libre quand les formations sont affleurantes • Nappe semi-captive à captive sous recouvrement • Partie libre : écoulement suivant la topographie et nappe drainée par les cours d'eau • Partie captive : nappe et cours d'eau déconnectés	• Nappe libre quand les formations sont affleurantes (surface réduite) ; • Nappe semi-captive à captive sous recouvrement ; • Partie libre : écoulement suivant la topographie et nappe drainée par les cours d'eau ; • Partie captive : nappe et cours d'eau déconnectés ;	• Nappe généralement libre ; • Nappe captive en cas de recouvrement par les argiles à silex ou des alluvions argileux ; • Cours d'eau drainent la nappe (le plus souvent) ; • Les réseaux karstiques peuvent modifier les écoulements ;	• Nappe libre à captive ; • Ecoulement de part et d'autre du horst du Perche, des crêtes vers les vallées ; • Déversement dans la nappe de la craie (nappe perchée) ou à l'équilibre avec les autres hydrosystèmes. ;	
Fluctuation du niveau des nappes	• En plateaux, variations entre les hautes et basses eaux inf. à 10 m ; • En vallée et en talwegs, variations entre les hautes et basses hautes entre 4 et 5 m ; • Nappe captive : variations très faibles (inf. à 1m) ;	• Nappe libre : fluctuations importantes, battement entre les basses et hautes eaux inf. à 10 m ; • Nappe captive : fluctuations annuelles et interannuelles peu marquées et très réduites (1 m environ) ;	• Nappe libre : amplitudes fortes (parfois > 10m) sur les plateaux, moyennes dans les zones de transition et faibles dans les vallées ; • Nappe captive : variations piézométriques relativement faibles (1 m) ;	• Variations relativement limitées, inf. à 10 m	
	• Cycles annuels forts ; • Nappes faiblement inertielles avec un « effet mémoire » limité ; • Cycles pluriannuels plus « faibles », correspondant majoritairement à la NAO (6-8 ans) ;				
Paramètres Hydrodynamiques et productivité	• Productivité dépend de la nature des unités traversées et de la fracturation ; • Débit de production très variable d'un secteur à l'autre (entre 10 et plus de 100 m³/h) ; • En plateaux : transmissivité entre 10⁻⁵ et 10⁻³ m²/s et débits fréquemment inf. à 10 m³/h ; • En vallées : transmissivité entre 10⁻³ et 10⁻¹ m²/s et débits fréquemment sup. à 100 m³/h ; • Coefficient d'emmagasinement entre 10⁻⁵ et 10⁻² (peut souligner le caractère captif si faible) ;	• Productivité très variable ; • Formations sableuses de la base : couche la plus productive à priori ; • Débit entre 10 et plus de 100 m³/h • Transmissivité : entre 10⁻³ et 10⁻⁴ m²/s ; • Coefficient d'emmagasinement entre 10⁻⁵ et 10⁻³ (peut souligner le caractère captif si faible) ;	• Productivité très bonne ; • Débits d'exploitation compris entre 65 et plus de 200 m³/h ; • Transmissivité : entre 10⁻³ et 10⁻² m²/s, moins dans les lithologies de craie marneuses ou non fracturées ; • Coefficient d'emmagasinement : entre 10⁻⁴ et 10⁻² (peut souligner le caractère captif si faible) ;	• Productivité moyenne à modeste ; • Débits entre 10 et 60 m³/h ; • Transmissivité entre 5.10⁻⁶ et 5.10⁻² m²/s mais majoritairement autour de 5.10⁻³ m²/s ; • Coefficient d'emmagasinement entre 10⁻⁵ et 10⁻⁴ (peut souligner le caractère captif si faible) ;	
Conditions d'alimentation et recharge	• Surface à l'affleurement réduite = 230 km² • Alimentation par infiltration des pluies efficaces • Alimentation par infiltration au niveau des zones de fractures et des contacts faillés, échanges possibles au travers des alluvions et formations de socle • Nappe captive : alimentation par drainance des unités sus-jacentes (callovo-oxfordien par exemple) ; • Période de recharge : Septembre-Mars ;	• Surface à l'affleurement très réduite = 180 km² • Alimentation directe par les pluies efficaces sur les zones d'affleurement ; • Echange d'alimentation ascendant quand la nappe est en charge ; • Echange d'alimentation descendante avec les formations sus-jacentes ; • Période de recharge : Septembre-Mars ;	• Surface à l'affleurement = 500 km² environ • Alimentation par infiltration des pluies efficaces ; • Infiltration lente pour la craie massive ; • Infiltration plus rapide dans les zones fracturées/karstifiées ; • Période de recharge entre Novembre et Avril ;	• Surface à l'affleurement = 210 km² environ • Alimentation principalement par infiltration des pluies efficaces lorsque la nappe est libre ou par échanges verticaux avec autres formations si captif • Période de recharge entre Octobre et Mars	
Autres caractéristiques	• Karstification encore mal identifiée (sauf sur certains secteurs comme Vingt-Hanaps par exemple, suspectée vers Mortrée entre Argentan et Sées) ; • Echanges avec les formations de socle encore mal identifiés ;	• Présence de karst dont le rôle et les effets hydrogéologiques restent à préciser/confirmer (drainance possible de l'aquifère crétacé ?)	• Zone karstifiée : excellente capacité productive mais plus forte vulnérabilité aux pollutions de surface (vitesse de circulation rapide)		

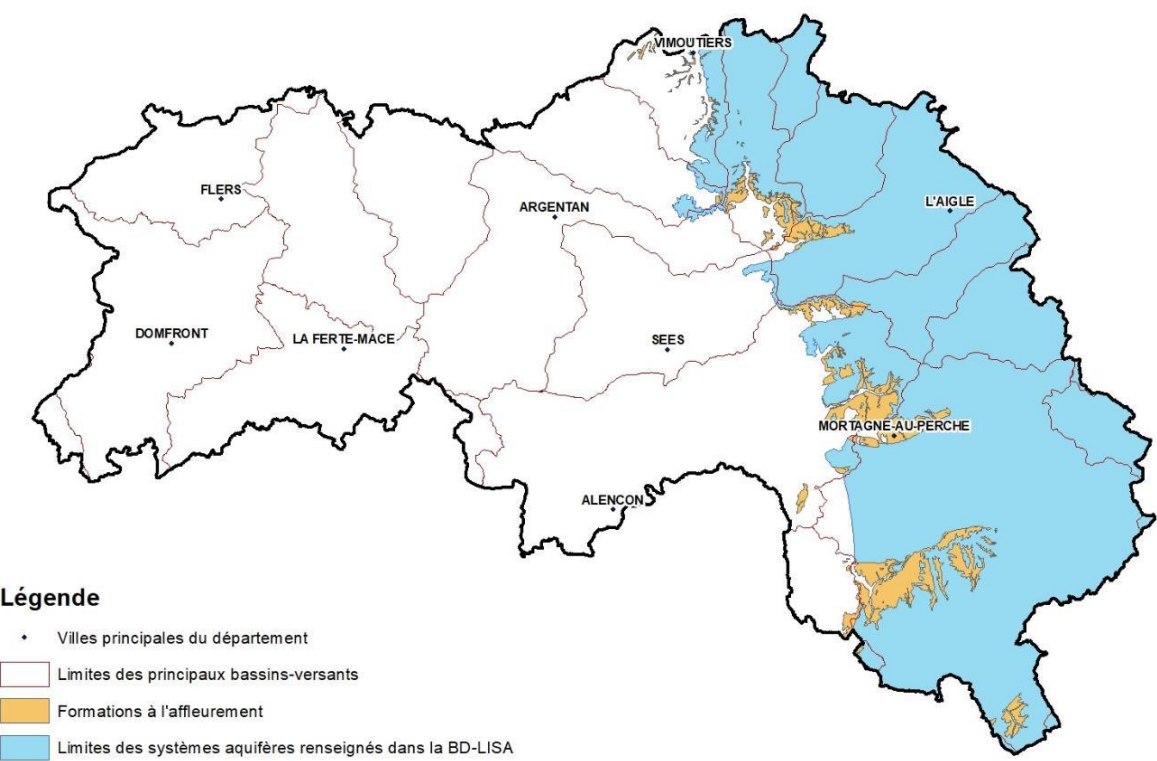
Répartition spatiale de l'aquifère du Bajocien-Bathonien



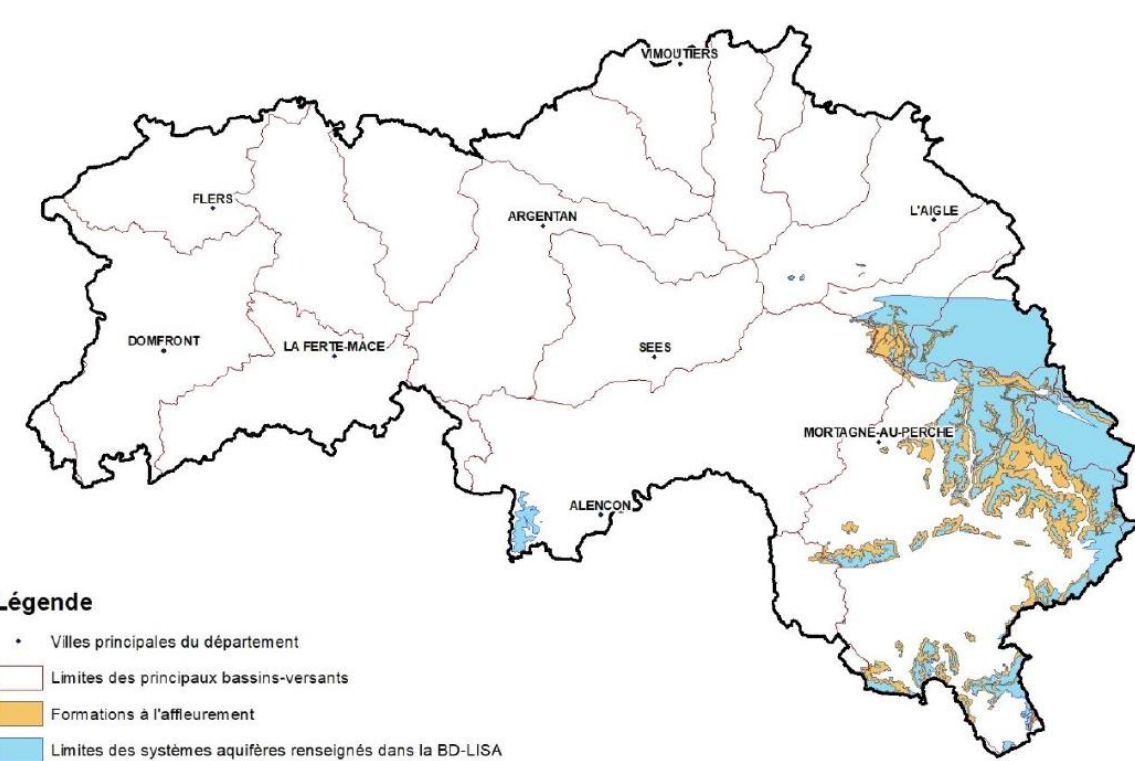
Répartition spatiale de l'aquifère de la craie turonienne et cénomanienne



Répartition spatiale de l'aquifère de l'Oxfordien-Kimméridgien



Répartition spatiale de l'aquifère des Sables du Perche



4. Piézométrie

4.1. CARTES HYDROGEOLOGIQUES DEPARTEMENTALES

Rappel sur les limites des cartes piézométriques produites (Rapport RP-73813-FR) :

Le BRGM rappelle que les cartes hydrogéologiques produites dans le cadre du programme OAGPRO61 concernent les **nappes d'eau souterraine des principaux aquifères du département** de l'Orne : formations du socle armoricain, formations du Dogger (Aalénien, Bajocien, Bathonien), formations de l'Oxfordien, formations crétacées (craie et sables du Perche principalement¹²). Attention toutes les formations aquifères ne sont pas représentées : limons et colluvions, alluvions, marnes et calcaires calloviens, trias pour les principales ressources secondaires sont notamment absentes.

Les données utilisées pour réaliser les cartes sont issues de différentes sources bibliographiques : en particulier de la banque de données du sous-sol (BSS), d'études à caractère hydrogéologiques fournies au BRGM par le SDE61, le tout complété par quelques mesures réalisées en 2021 par le BRGM dans le sud-ouest du département. Il s'agit donc d'un ensemble de données disparates et **asynchrones**.

Le jeu de données disponible (mesures ponctuelles ou de suivi piézométrique) n'a pas permis d'estimer et de représenter la variabilité des situations de hautes et basses eaux des nappes. Aussi une seule représentation de l'altitude des nappes est proposée dans le rapport dans une situation moyenne.

Le BRGM précise que ces cartes ne représentent pas la situation des premières nappes d'eaux souterraines rencontrées dans le sous-sol. En effet, une première nappe d'eau peut être présente (systématiquement ou ponctuellement en fonction des conditions locales) dans les formations superficielles ou d'altération des formations géologiques sous-jacentes ou dans d'autres formations géologiques peu ou pas aquifères, qui n'ont pas été représentées dans le cas présent.

Bien que les résultats aient été vérifiés et contrôlés, les cartes produites, à partir de méthodes statistiques, peuvent ne pas reproduire fidèlement la réalité. En effet, les méthodes d'interpolation s'appuient principalement sur les données existantes : leur nombre et leur qualité peuvent parfois être insuffisants pour permettre une juste représentation de la situation locale.

Il est donc très important de rappeler que les **cartes hydrogéologiques sont représentées à une échelle départementale**. Tout usage en dehors de ces échelles pourrait conduire à des erreurs d'appréciation. Elles sont présentées dans le corps de texte de ce chapitre mais ont été reproduites en Annexe 1 au format A3 (différent de leur format originel) pour une meilleure lisibilité de leur contenu.

Elles diffèrent des strictes cartes piézométriques produites dans le rapport BRGM/RP-73813-FR, par l'ajout d'informations complémentaires : limites à flux nuls ou de « partage des eaux », sens d'écoulement, secteurs sous couverture (présumés captifs), présence d'indices karstiques, piézomètres de suivi des nappes, etc...

¹² Les traitements réalisés n'ont pas permis de distinguer le niveau au sein des sables du Perche de celui au sein de la craie. Aussi, l'ensemble est représenté sous la dénomination : formations du Crétacé supérieur.

4.1.1. Aquifères du domaine de socle armoricain

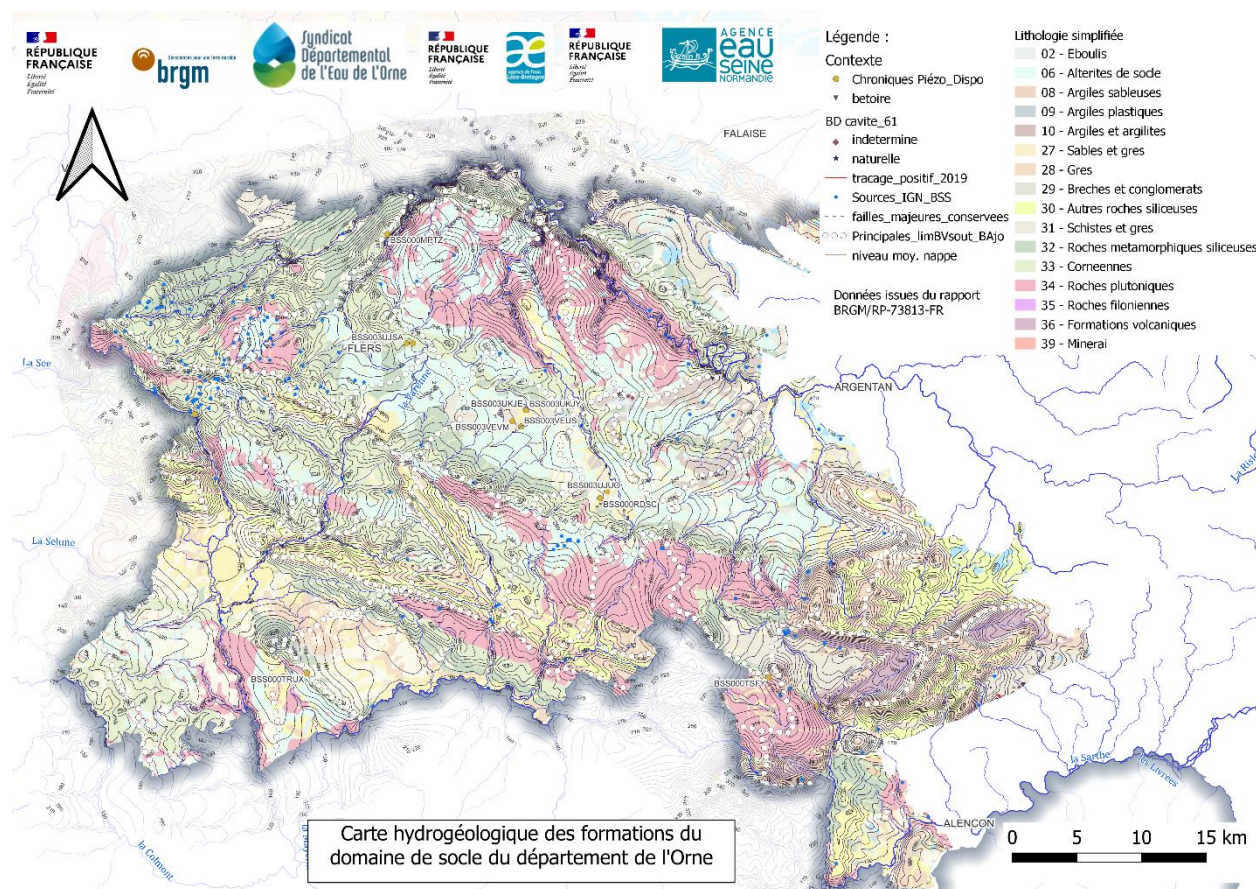


Figure 16 : Carte hydrogéologique des formations du domaine de socle du département de l'Orne

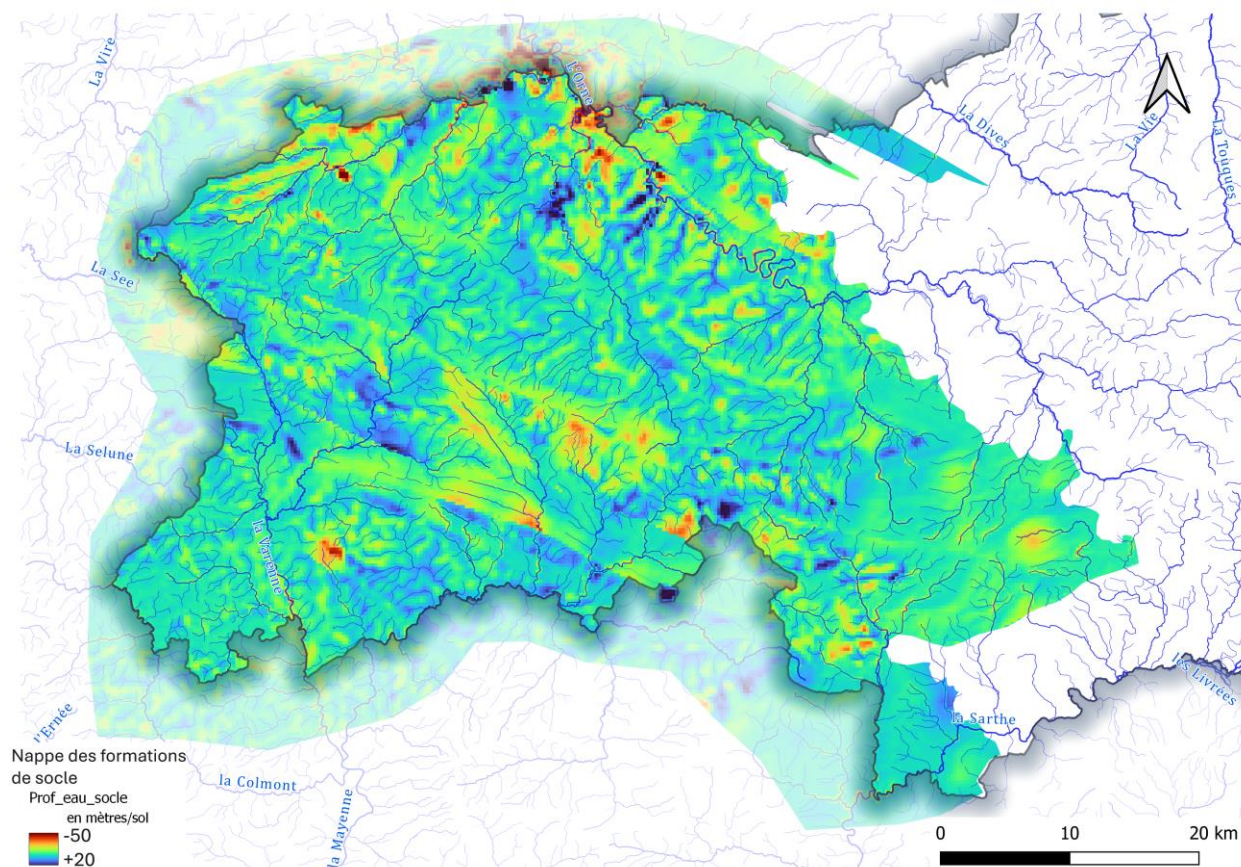


*Figure 17 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations du domaine de socle armoricain
Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité
(position des aquitards)*

4.1.2. Aquifères du domaine sédimentaire

a) Aalénien-Bajocien-Bathonien (Dogger)

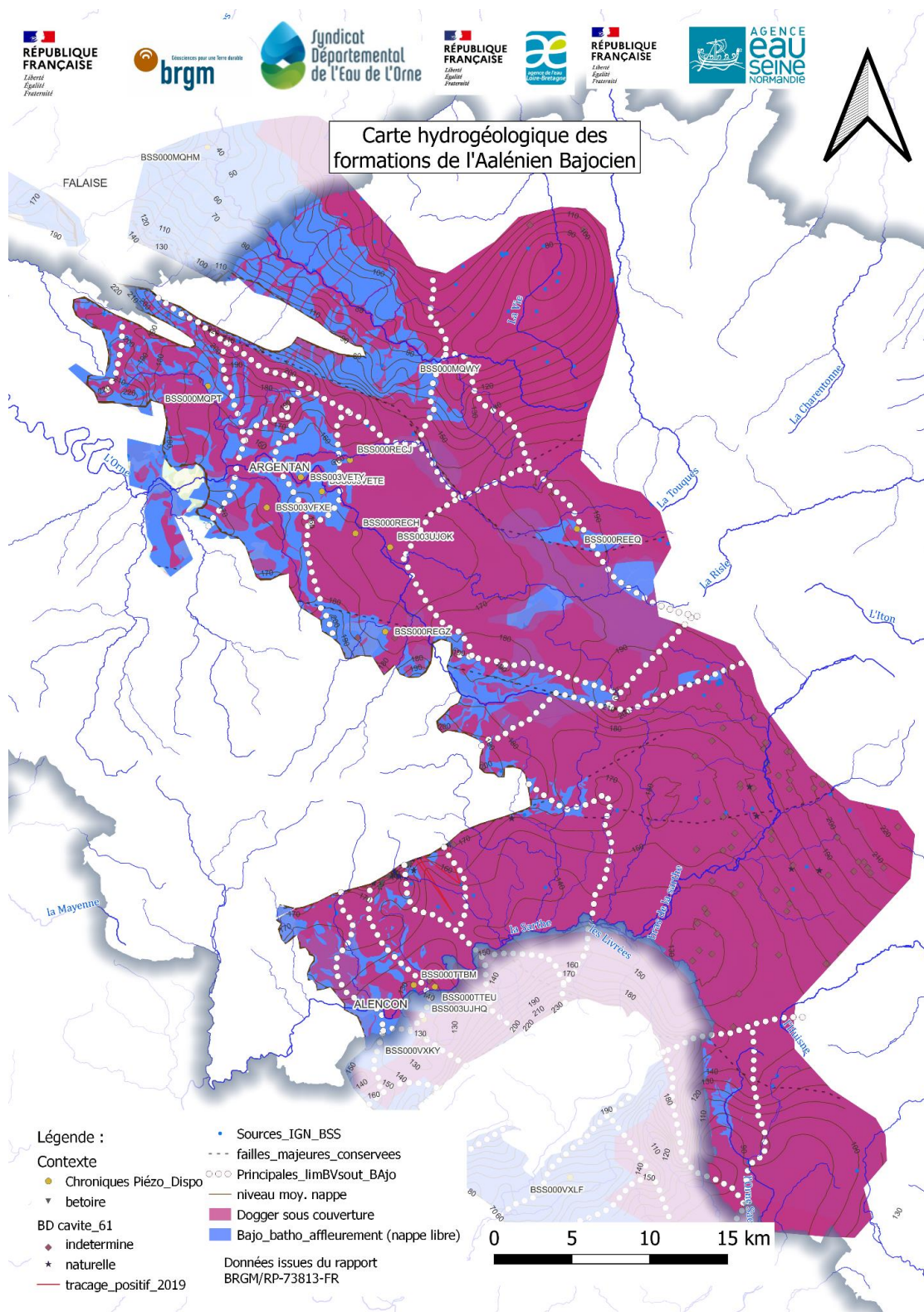


Figure 18 : Carte hydrogéologique des formations du Dogger du département de l'Orne

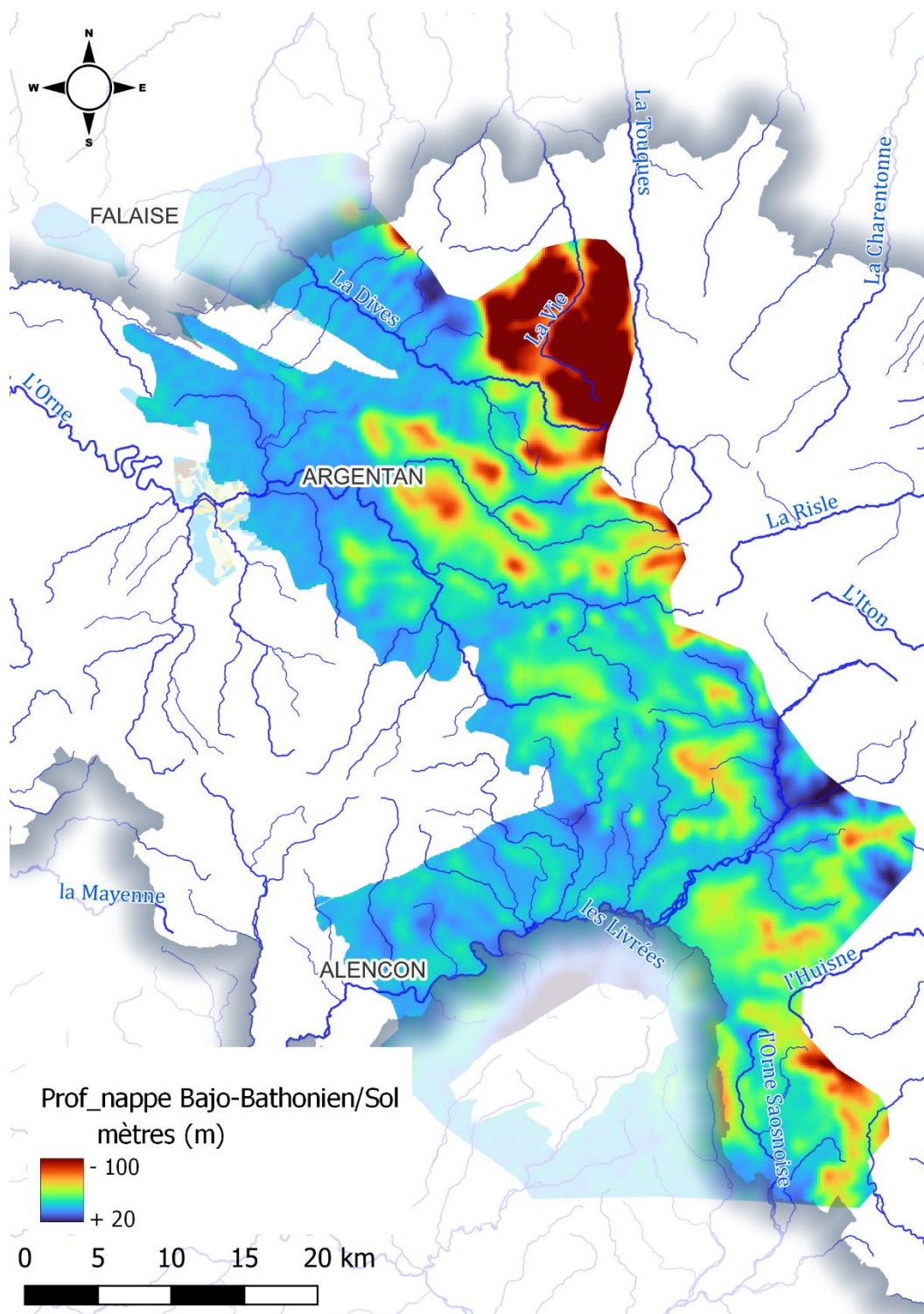


Figure 19 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations de l'Aalénien-Bajocien-Bathonien
Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité
(position des aquitards)

b) Formations de l'Oxfordien-Kimmeridgien

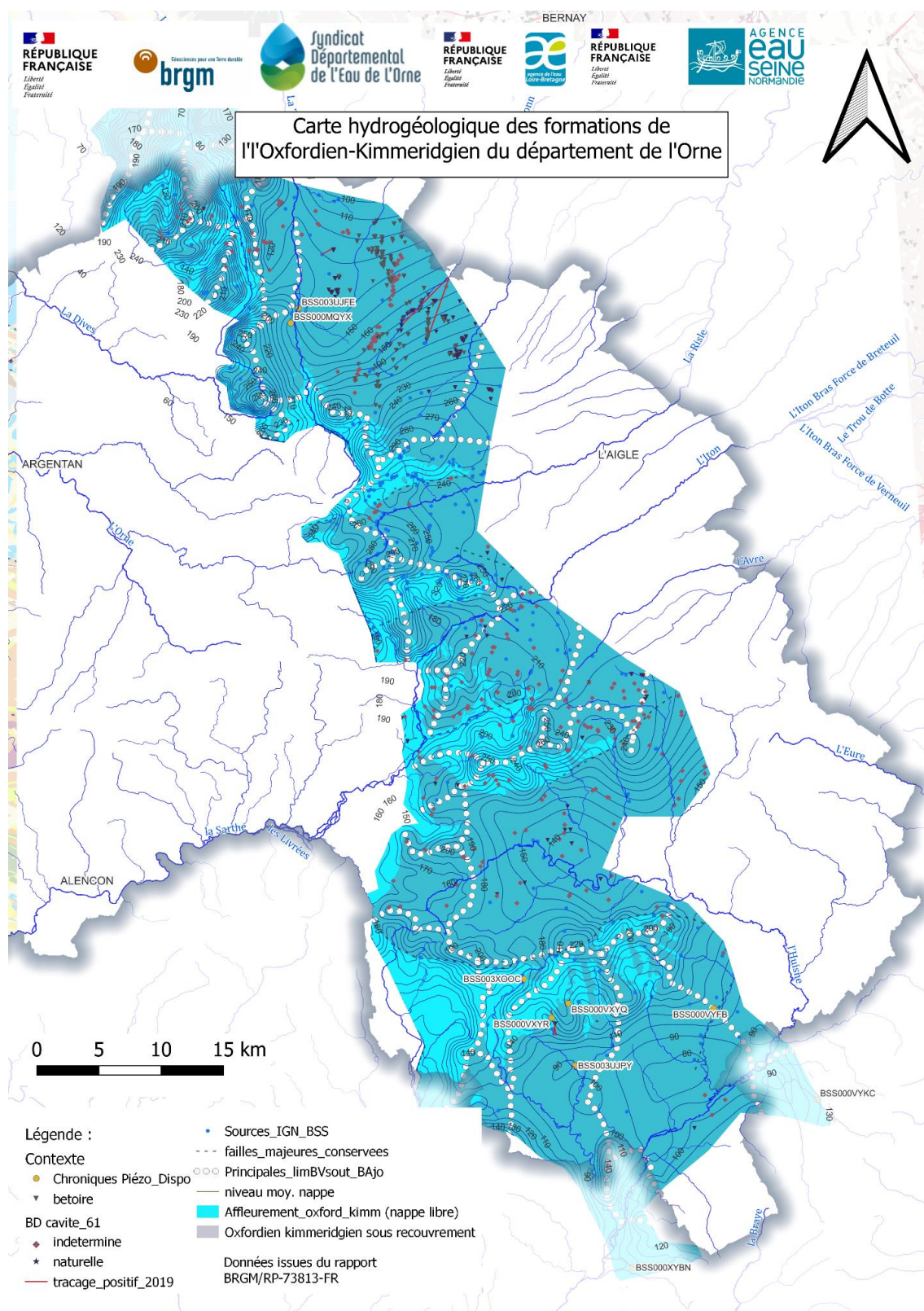


Figure 20 : Carte hydrogéologique des formations de l'Oxfordien Kimmeridgien du département de l'Orne

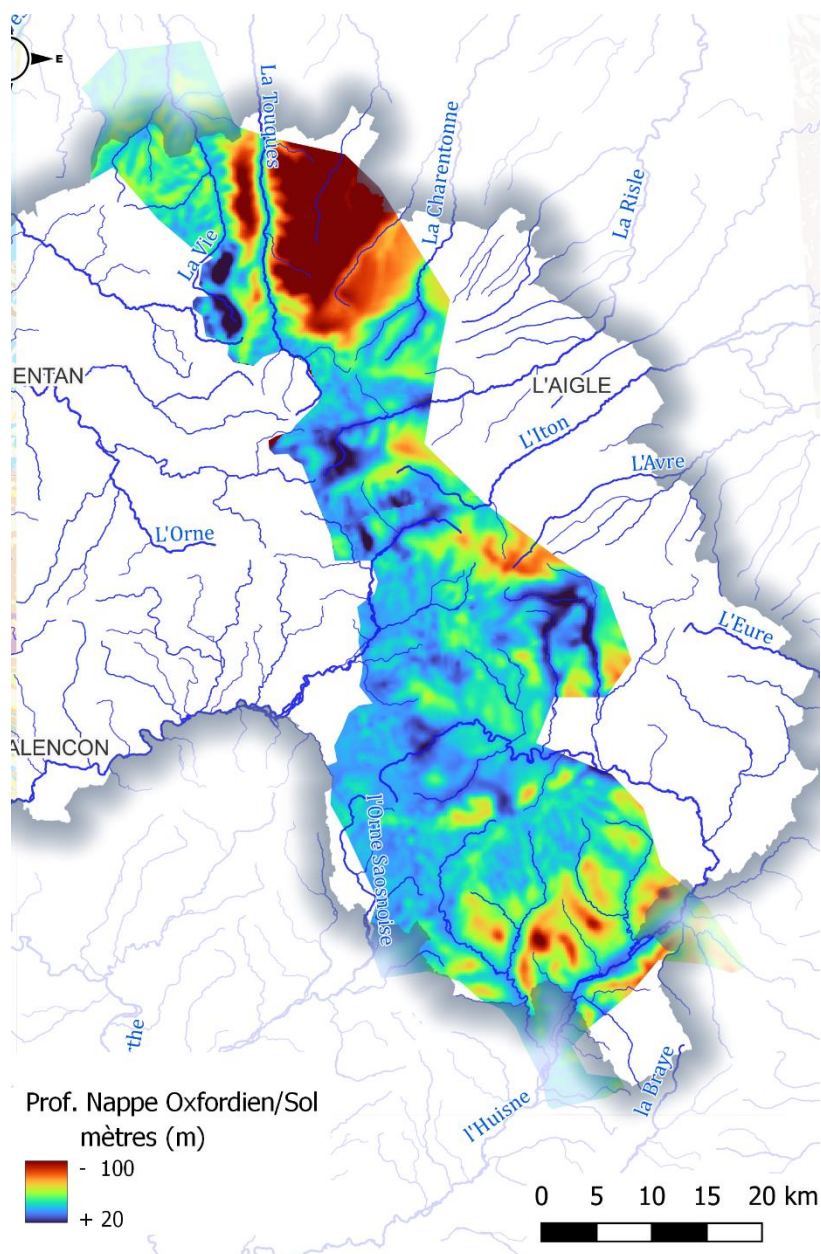


Figure 21 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations oxfordiennes et kimmeridgiennes
Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité
(position des aquitards)

c) Formations du Crétacé supérieur

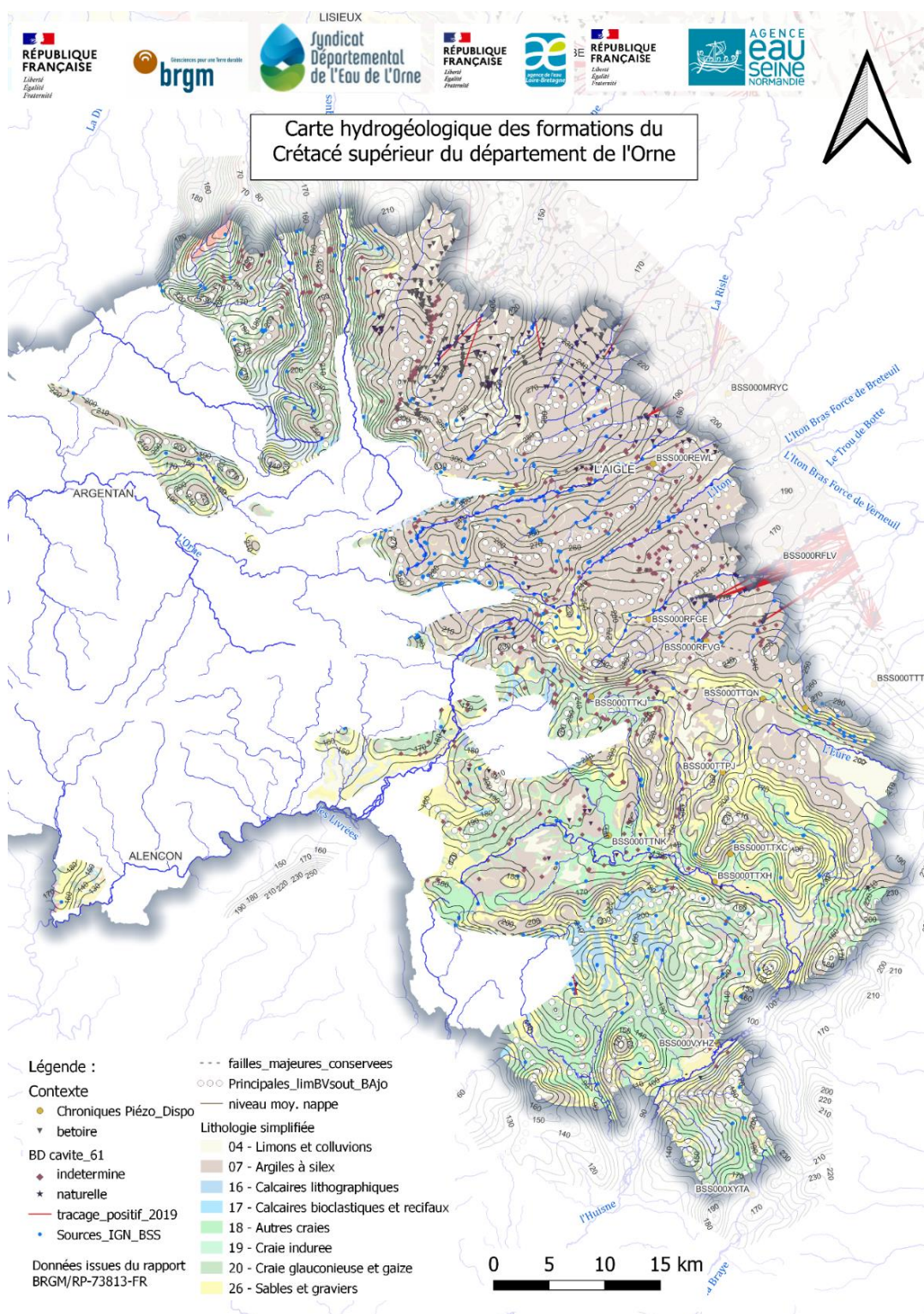


Figure 22 : Carte hydrogéologique des formations du Crétacé supérieur du département de l'Orne

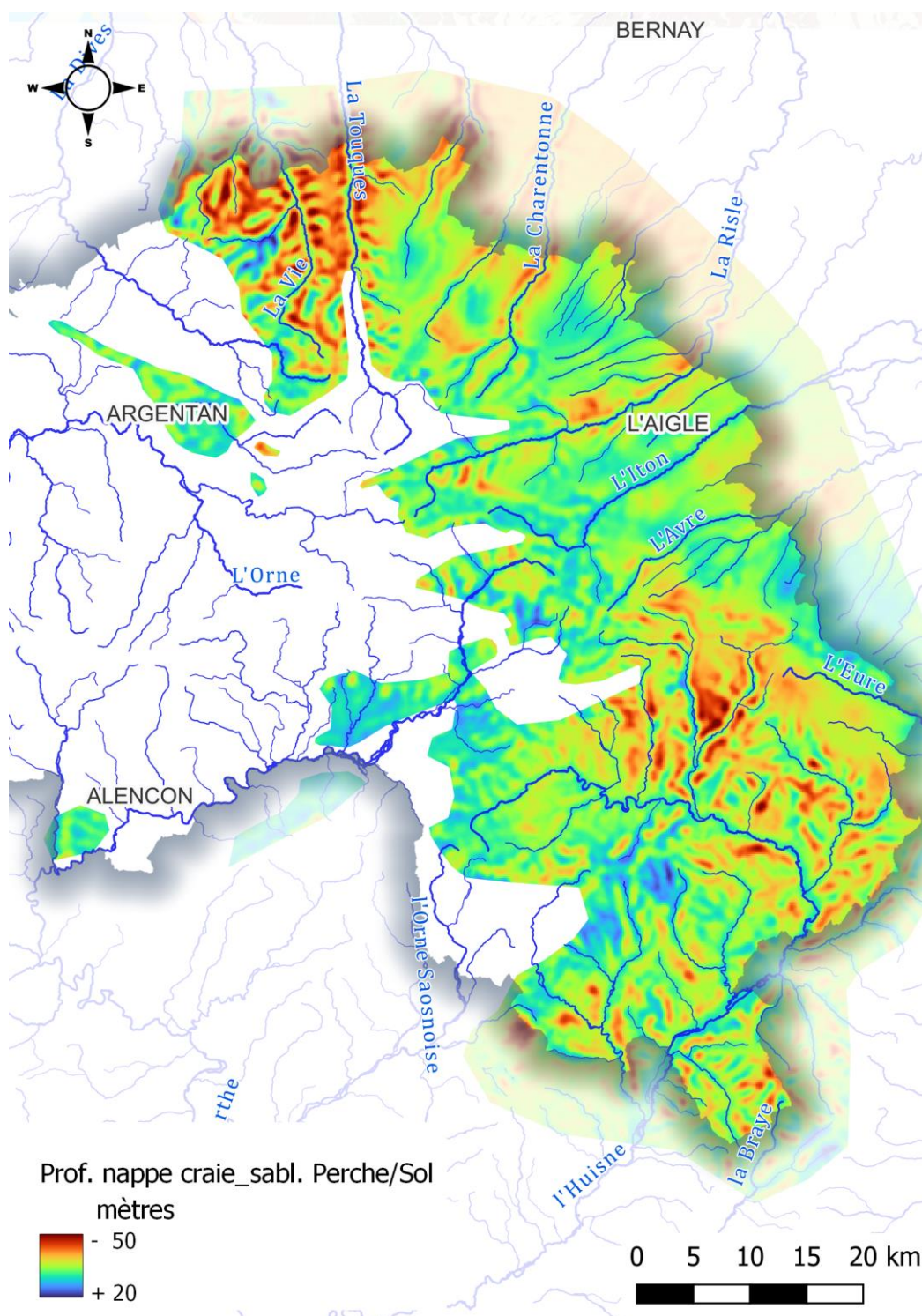


Figure 23 : Profondeur estimée de la nappe dans les formations du Crétacé supérieur
Attention : cette information est donnée à titre indicatif car la carte ne précise pas les zones de captivité
(position des aquitards)

4.1.3. Commentaires sur les cartes produites

a) *Sur les limites des bassins versants souterrains*

Dans l'ensemble, les limites topographiques des bassins versants sont assez proches de leurs limites souterraines. C'est un biais de l'interpolation des données qui s'explique par le choix méthodologique d'intégrer l'influence de la topographie dans l'estimation des surfaces piézométriques (cf. RP-73813-FR).

Avec les données disponibles, certaines limites souterraines ne sont pas clairement établies, c'est le cas notamment :

- De l'amont des vallées de l'Iton et de la Sarthe d'une part et de l'Orne et de la Sarthe d'autre part ;
- De la vallée de la Risle et son principal affluent la Charentonne, probablement du fait de captures karstiques ;
- Il existe une capture probable des bassins de la Dives et de l'Orne, respectivement par la Vie et la Touques. D'après les données piézométriques et litho-structurales produites, les bassins versants souterrains de ces deux cours d'eau s'étendraient au-delà de leurs limites topographiques (non vérifié) ;
- Même constat, mais dans une moindre mesure pour le bassin versant souterrain de l'Eure dont on peut vraisemblablement envisager la capture son cours amont au bénéfice du bassin de l'Huisne (non vérifié).

Ces incertitudes révélées sur les cartes départementales pourront être levées par des études de détail, aux échelles adaptées.

b) *Sur les conditions d'alimentation des nappes*

- L'hypothèse de construction des cartes piézométriques départementales a été de considérer globalement que les nappes libres alimentent les rivières. Ces nappes se rechargent par infiltration des pluies efficaces (cf. Figure 24).
- Le drainage karstique des bassins versants n'est vraisemblablement pas représenté, l'échelle de travail et la densité d'information ne le permettent pas.
- Les parties captives des nappes ne sont pas alimentées directement par les parties libres. Leur recharge se fait principalement par drainance de la couverture peu perméable (cas majoritaire des aquifères jurassiques Bajocien-Bathonien et Oxfordien exploités dans le département de l'Orne), avec souvent comme conséquence une déconnexion entre la nappe et les cours d'eau s'écoulant en surface (cas de la Sarthe entre Sémallé et le Mêle par exemple).

D'une façon générale, la vulnérabilité des nappes libres du département de l'Orne est importante : la profondeur des eaux souterraines est peu importante sur ces secteurs (zone non saturée faible) et la puissance des aquifères globalement moyenne à faible par comparaison aux ressources des départements voisins comme le Calvados et l'Eure (remarque valable pour les nappes des aquifères sédimentaires)¹³.

¹³ Le programme OAGPRO61 ne prévoyait pas de mise à disposition de carte des toits et murs des principaux aquifères, ce travail reste donc à réaliser dans le département de l'Orne.

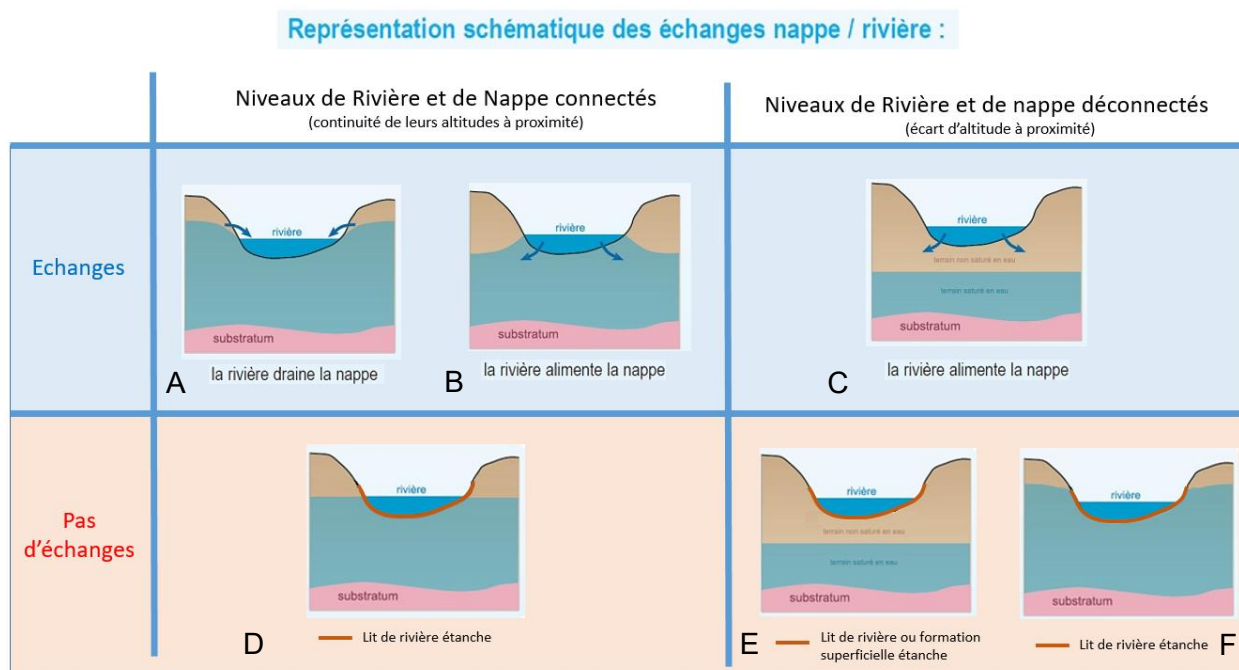


Figure 24 : Exemples de configurations de relations nappes/rivières possibles
(figure extraite du rapport BRGM/RP-69139-FR)¹⁴

Exemple de cas à l'échelle du département de l'Orne

- A : Cas général de la nappe de la craie et des nappes du domaine de socle ;
- B : Cas des barrages et seuils réhaussant le niveau de la rivière en amont des obstacles aux écoulements, il en existe de nombreux dans le département de l'Orne ;
- C : Cas des bassins versants en pertes structurelles (Avre et Eure amont par exemple) ;
- D/F : Cas probable de l'amont de l'Iton dont l'équilibre entre rivière et nappe s'établit au sein de formations argileuses (altérites à silex), qui servent également de support au lit de la rivière ;
- E : Cas probable des rivières Sarthe et Orne qui courent sur des formations non aquifères dans leur partie médiane.

¹⁴ David, Pierre-Yann ; Meire, Baptiste ; Pennequin, Didier ; Jallais, Nolwenn ; Bault, Violaine ; Idee, Erwan ; Albinet, Rémi ; Belbeze, Stéphane ; Ragot, J. (2020) - Fonctionnement de l'hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Lillebonne – Fécamp (76) – Volet hydrogéologique - Rapport final. BRGM/RP-69139-FR, 443 p., 14 annexes, 1 volume.

4.2. RESEAUX DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

Dans le département de l'Orne, des chroniques des niveaux piézométriques sont disponibles sur environ 46 ouvrages appartenant aux réseaux de surveillance des eaux souterraines du BRGM et du SDE61 (Figure 25 page suivante).

Ces chroniques sont disponibles sur le portail de visualisation des données sur les eaux souterraines [ADES](#)¹⁵. On pourra également conseiller de consulter les données des réseaux des régions limitrophes : Centre Val de Loire et Pays de Loire.

Il est important de souligner que certains bassins versants ou portions d'aquifères ne sont peu ou pas suivis. C'est le cas en particulier des grands batholites et de compartiments aquifères importants du domaine de socle, notamment le grand massif d'Ecouves et le synclinal de Domfront-la Ferté Macé, à titre d'exemple. Plus à l'Est, ce sont les bassins versants du domaine sédimentaire qui se trouvent malheureusement également concernés : la Vie, le Guiel, la Charentonne et l'Orbiquet ne disposent pas en effet de suivi ainsi que l'Orne en aval d'Argentan (cf. Rapport RP-69331-FR).

Dans le volet quantitatif du programme OAGRPO61 (rapport RP-74443-FR), il a pu être mis en évidence l'existence, au sein d'un même bassin, de différentes typologies de comportements liés à la nature des différents aquifères et à la captivité ou non des nappes. Le cas de l'Huisne avec sa géologie et sa structuration complexe en est un bon exemple.

On rappellera que la dynamique des nappes et aquifères, étudiée à l'aide de ces chroniques a été décrite sommairement dans le paragraphe 3.3 de ce rapport. Ces chroniques ont fait l'objet d'analyses spécifiques et d'une modélisation dans les rapports RP-69331-FR et RP-74443-FR ; nous invitons le lecteur à s'y référer pour plus d'informations.

Ainsi, ce qu'il faudra retenir pour le département de l'Orne où les aquifères sont très compartimentés, c'est que les observations hydrologiques (piézomètres ou stations hydrométriques) ne peuvent pas être considérées comme représentatives du fonctionnement de l'ensemble des bassins versants. Le plus souvent, cette hétérogénéité nécessite de multiplier les points d'observations pour pouvoir décrire leur fonctionnement complexe de façon efficiente.

Ces observations ont conduit le BRGM à recommander de densifier le réseau de suivi hydrométrique et piézométrique de la plupart des bassins versants.

¹⁵ 0300000304 - RRESOUPNOR - Réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines de la région Normandie
0300000039 - RDESOU61 - Réseau départemental de suivi quantitatif des eaux souterraines du syndicat de l'Orne (61)

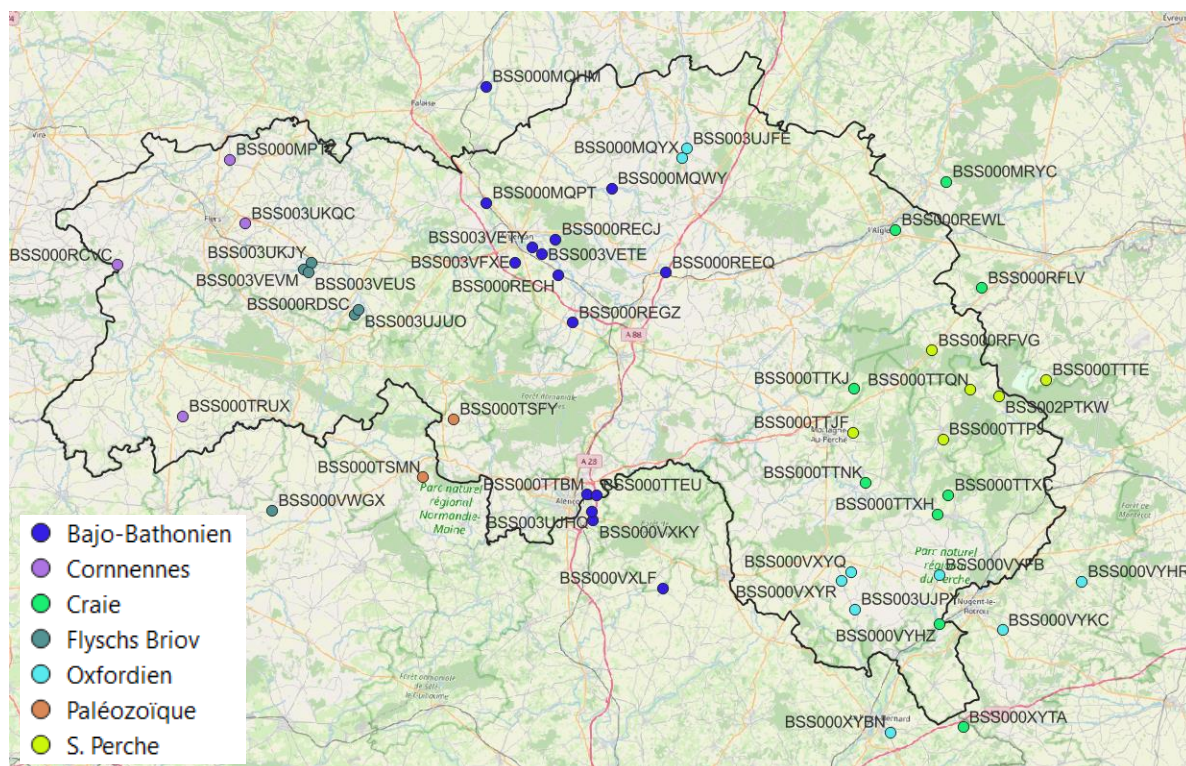


Figure 25 : Carte des piézomètres et chroniques disponibles pour les principaux aquifères du département de l'Orne (source : SDE61 – BRGM dans rapport BRGM/RP-74443-FR)

4.3. SUSCEPTIBILITE AUX PHENOMENES DE REMONTEES DE NAPPES (SOURCE MTES/DGPR-BRGM)

Une inondation par remontée de nappe est une inondation provoquée par la montée du niveau de la nappe phréatique jusqu'à la surface du sol. Les nappes phréatiques sont alimentées (rechargées) par l'infiltration d'une partie de l'eau de pluie qui atteint le sol. Leur niveau varie de façon saisonnière :

- la recharge des nappes a principalement lieu durant la période hivernale car cette saison est propice à l'infiltration d'une plus grande quantité d'eau de pluie : les précipitations sont plus importantes, la température et l'évaporation sont plus faibles, et la végétation, peu active, prélève moins d'eau dans le sol ;
- à l'inverse, durant l'été, la recharge des nappes est le plus souvent faible, voire nulle ;

Les nappes dont la remontée est susceptible de provoquer des inondations sont :

- les nappes phréatiques dites "libres" (qui ne sont pas séparées du sol par une couche de terrain imperméable) ;
- dont la zone non saturée (couche de terrains contenant à la fois de l'eau et de l'air) est mince.

Attention ! Les cartes piézométriques produites à l'échelle départementale n'ont pas été utilisées pour ces évaluations. Les cartes présentées ci-après relèvent d'une démarche nationale pour le BRGM¹⁶ et régionale pour la DREAL Normandie, toutes deux antérieures aux rapports produits dans le cadre du programme OAGPRO61.

4.3.1. Conditions favorisant le déclenchement du phénomène

Trois paramètres sont particulièrement importants dans le déclenchement et la durée des inondations par remontée de nappes :

- une suite d'années à pluviométrie excédentaire (avec forte recharge), entraînant des niveaux moyens et d'étiages de plus en plus élevés ;
- une amplitude importante de battement annuel de la nappe, dépendant étroitement du pourcentage d'interstices de l'aquifère ;
- un volume global important d'eau contenue dans la nappe.

Les caractéristiques de l'aquifère dans lequel est contenue la nappe sont également déterminantes.

¹⁶ Alexandre Brugeron, Quentin Fabregoul, Hélène Bessière (2023) – Actualisation de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe. Rapport final V1. BRGM/RP-72333-FR, 44 p.

4.3.2. Cas des inondations par remontées de nappes reposant sur une formation peu perméable

Les nappes reposant sur une formation peu perméable (exemple des formations calloviennes qui couvrent le centre du département) peuvent engendrer des inondations par remontée de nappe du fait :

- de leur capacité de stockage et/ou d'infiltration très limitée ;
- de leur recharge directe rapide à la suite d'épisodes pluvieux conséquents et continus ;
- de la connexion hydraulique avec les drains de surface, fossés ou des rivières. En raison de la présence d'un substratum peu perméable, le surplus d'eau qui ne parvient pas à s'infiltrer ne peut alors que s'écouler en surface. Il est donc souvent difficile de distinguer l'origine de l'inondation entre une remontée de nappe, une crue de rivière ou des épisodes pluvieux intenses.

Les inondations par remontée de nappe dans ce type de contexte hydrogéologique (cas de l'Orne et la Sarthe par exemple) peuvent être de durée relativement courte, en comparaison avec les inondations par remontées des nappes contenues dans des aquifères épais de type calcaires ou crayeux.

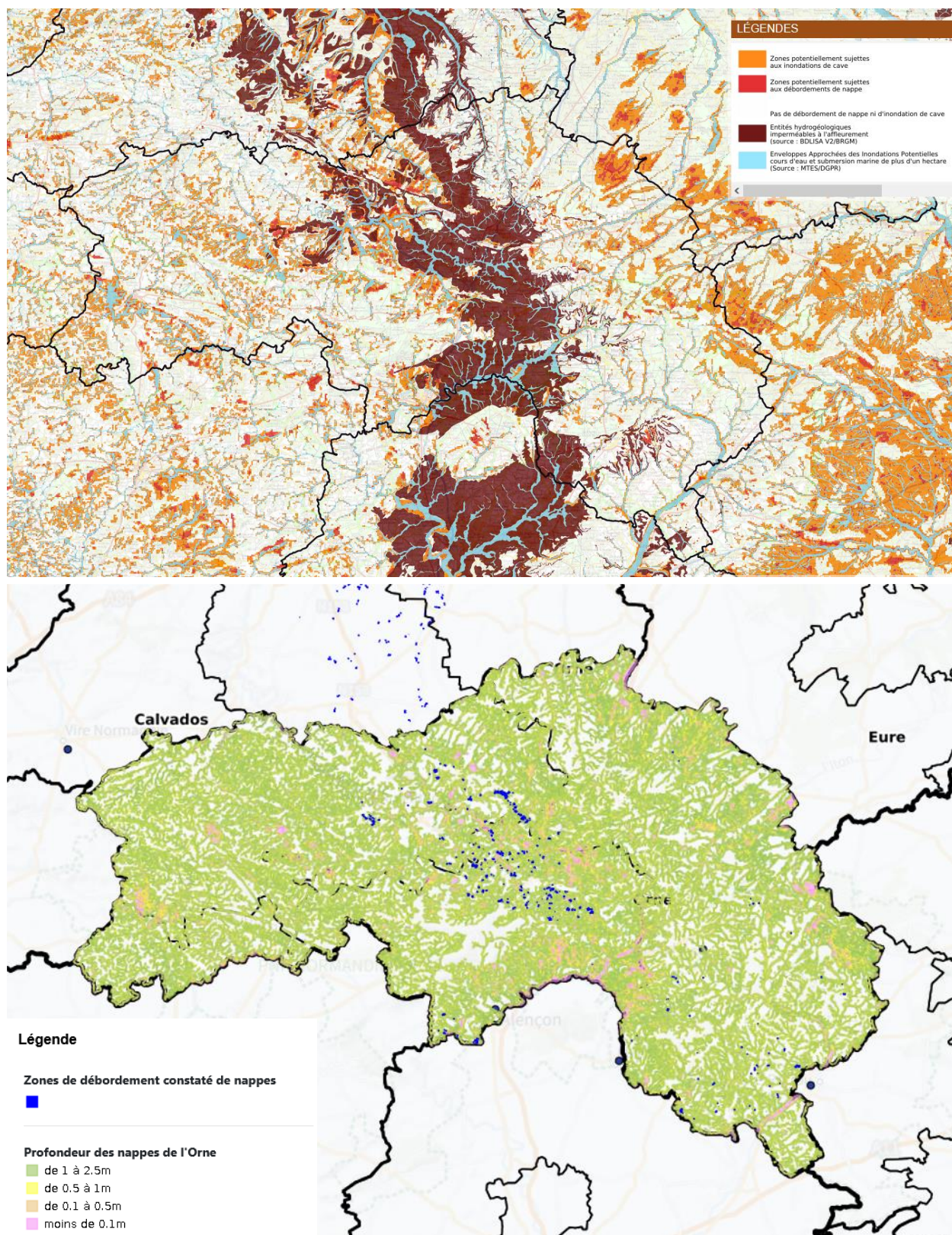
4.3.3. Effets et conséquences

Selon les secteurs, le phénomène d'inondation par remontée de nappes peut conduire à :

- une inondation généralisée dans les vallées, par contribution exceptionnelle de la nappe. *C'est le cas typique de la Somme en région Hauts de France ;*
- la ré-activation des cours d'eau temporaires de certaines portions de cours d'eau, où habituellement les cours d'eau ne coulent plus en surface mais uniquement dans les fissures souterraines de la roche ou dans le réseau karstique sous-jacent. *Cas de certains cours d'eau de l'Est du département de l'Orne comme le Guiel et l'Orbiquet par exemple ;*
- l'apparition d'étangs et de mares temporaires sur certains plateaux dans des zones de dépressions (notamment dolines ou bétoires ou anciennes carrières) ;
- l'apparition de lignes de sources dans les thalwegs des vallées sèches ou valleuses, bien en amont des sources habituelles ou valleuses. *Cas de la Risle et l'Iton lors de l'automne hiver 2024-2025 ;*
- des inondations par des causes secondaires : c'est en particulier le cas lorsque des ouvrages de génie-civil sous-dimensionnés ont été construits pour permettre le passage de voies d'accès pour le franchissement de vallées sèches ou de vallons qui ne coulent habituellement pas ou dans les larges plaines ou zones humides avoisinant les cours d'eau dont les fossés et ouvrages de drainages se trouvent saturés. Lors des remontées de nappes, ces ouvrages peuvent former des barrages et provoquer l'inondation des terrains situés en amont (*cas de la Sarthe entre Alençon et le Mêle par exemple*) ;
- des mouvements de terrains notamment sur des sites à pente importante. La remontée de l'eau déstabilisant la couche la plus meuble du sol et de la zone altérée de la roche (*cas des collines du Pays d'Auge ou du Perche*). Toutefois il est difficile de les distinguer des mouvements de terrain dus à une saturation excessive et directe des sols par la pluie de ceux dont l'origine pourrait être associée à un phénomène de remontée de nappe.

Il existe deux types de cartographies consultables sur ce phénomène (Figure 26 page suivante). Les bassins versants de l'Orne et de la Sarthe, tout comme l'amont des vallées de

la Dives, la Vie et la Touques, apparaissent très exposées à ce type d'aléa où les infiltrations sont limitées dans des aquifères peu capacitifs (marnes et calcaires du Callovien).



4.4. SECHERESSES

Retour sur la sécheresse de 1976 qui a touché Flers et ses alentours : comparable à celle de 2022 ?

Retour, au travers des archives de L'Orne Combattante, sur l'été 1976 à Flers (Orne) où nombreuses sont les similitudes avec l'épisode caniculaire et de sécheresse de cette année.



La sécheresse de 1976 est souvent citée comme comparable à celle de 2022. ©Lucas Rapi

Figure 27 : Page de Une de la presse locale illustrant des épisodes de sécheresse marquée ayant frappé les différents terroirs de l'Orne en 2022 (source : Orne combattante - Actu.fr)

La similitude des écarts aux moyennes a permis d'agréger l'ensemble des chroniques piézométrique du réseau départemental de l'Orne (46 points) pour obtenir une tendance globale (Figure 28 page suivante). Sur ces figures, les minimas représentent les périodes de sécheresse et les maximas les périodes humides. Sur ces chroniques moyennes issues de niveaux piézométriques, les niveaux les plus bas sont observés sur les années 1996, 2005, 2011, 2017 et 2022 et 2023.

Les sécheresses récentes (2017, 2019, 2022) faisaient suite à des périodes de niveaux normaux et ces périodes de déficit ont été relativement courtes par rapport aux événements passés.

Il n'est pas observé de tendance générale à la hausse ou à la baisse sur la période d'observation. Attention, il existe des différences notables entre les différentes ressources du département (dynamique réactive ou inertielle des recharges et vidanges), que ce seul graphique ne permet pas d'illustrer, cf. RP-74333-FR et RP69331-FR pour plus de détail.

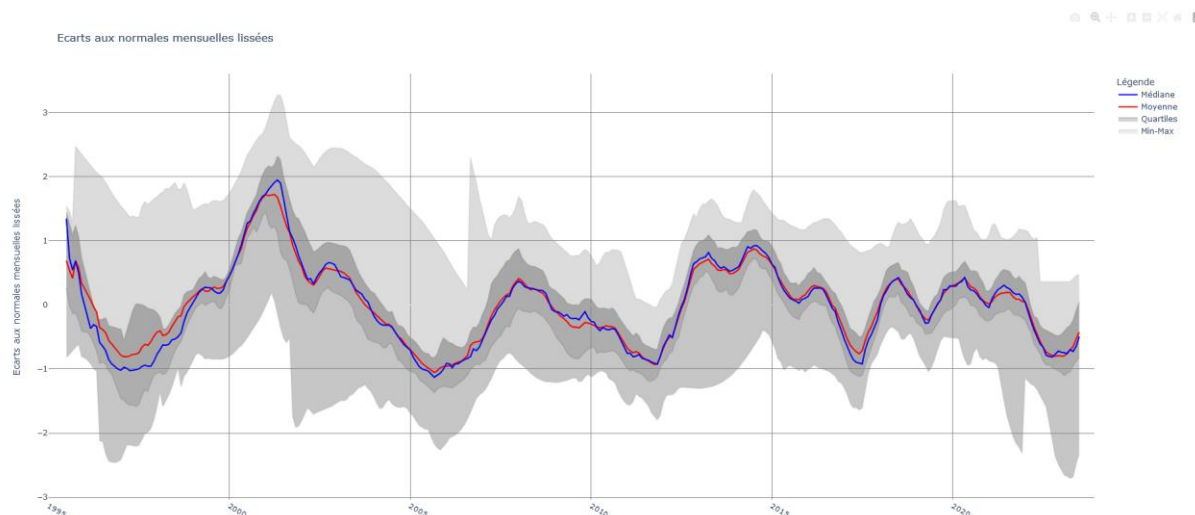


Figure 28 : Ecart aux normales mensuelles lissées des 46 chroniques piézométriques du département avec en rouge la moyenne, en bleu la médiane. Les plages de gris représentent les minimums et maximums ainsi que les premiers et derniers quartiles

Pour les cours d'eau, la reconstitution de l'historique met en avant une forte cyclicité avec des minimas correspondant à 1976, 1992, 1996, 2005, 2011, 2017, 2019 et 2022. La reconstitution réalisée permet également de comparer l'impact relatif de ces sécheresses, leur durée et impact sur le cycle de l'eau (Figure 29).

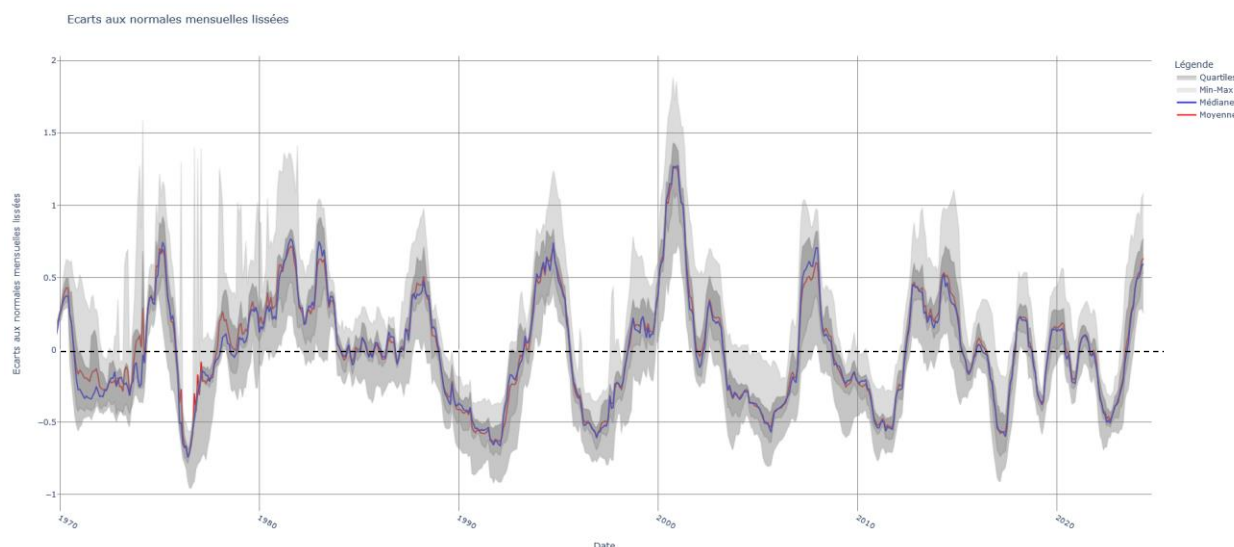


Figure 29 : Ecart aux normales mensuelles lissées des 53 chroniques de débits du département avec en rouge la moyenne, en bleu la médiane. Les plages de gris représentent les minimums et maximums ainsi que les premiers et derniers quartiles

Ainsi, il peut être souligné que les événements de 1976 et 1989-1992 restent les plus impactants sur les ressources en eau de surface depuis 1970. Les périodes de plus long déficit par rapport aux normales ont eu lieu entre 1989-1992 et 2003-2006.

L'analyse plus détaillée de ces données, réalisée dans le volet quantitatif du programme OAGPRO61 (Rapport RP-74443-FR) a permis de préciser que le comportement et la capacité de résilience des ressources en eau sont contrastés à l'échelle du département :

- **Dans l'Est du département** si les déficits pluviométriques se reportent plus tardivement sur les niveaux piézométriques, ces périodes de déficits peuvent se maintenir sur plusieurs mois en raison d'une inertie plus importante. A titre d'exemple, la craie du Cénomanien et du Turonien semble pouvoir être affectée par des successions d'années sèches ou une variation des périodes de recharge, entraînant alors un déficit des ressources dans les principaux aquifères.
- **A l'Ouest**, les aquifères du **domaine de socle armoricain**, moins capacitifs, semblent peu sensibles aux successions d'années sèches (le renouvellement des ressources se fait plus rapidement lors des périodes de recharge). En revanche leur vidange, tout aussi rapide, lors des périodes sèches peut entraîner des difficultés dans le cas de périodes de déficits prolongés, à l'échelle de quelques mois, ou lors de recharges tardives.

Dans le département de l'Orne, l'arrêté cadre du 11 juillet 2023 et l'arrêté modificatif du 1er août 2024¹⁷ précisent les conditions de déclenchement et les mesures mises en œuvre à l'occasion d'un épisode de sécheresse sur les différentes zones d'alerte du département (Figure 30), celui-ci précise :

- les zones d'alerte et les points de surveillance
- les seuils applicables aux points de surveillance
- le tableau des mesures à mettre en œuvre par les usagers pour chaque niveau d'alerte

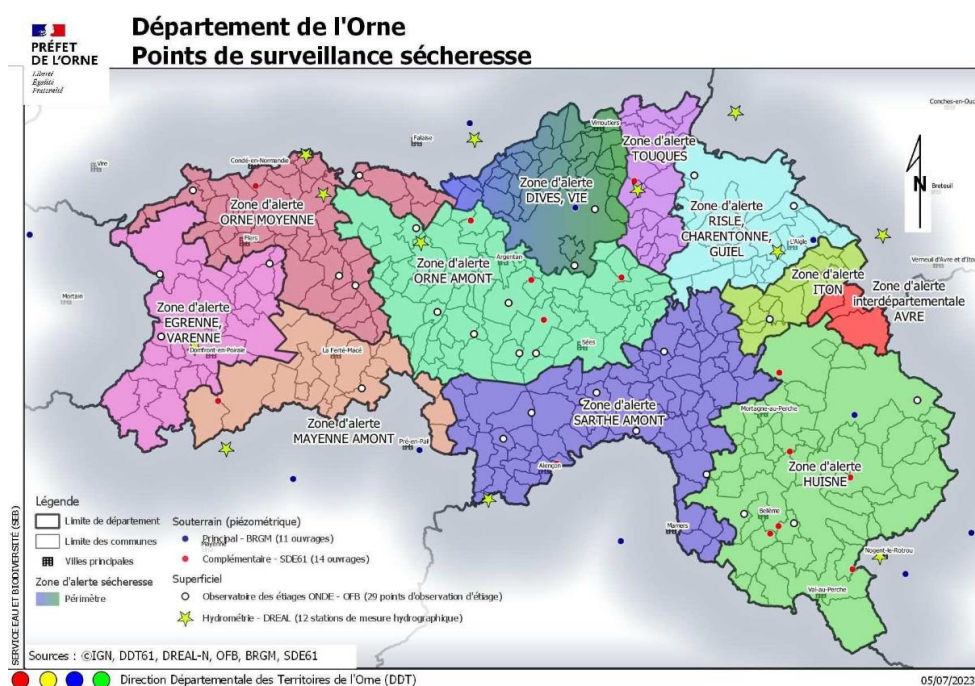


Figure 30 : Zones d'alertes et point de surveillance des situations de sécheresse dans le Département de l'Orne (source : DDT61 v.2024)

¹⁷ <https://www.orne.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement.-transition-energetique-et-prevention-des-risques/Protection-de-l-environnement/Eau-et-milieux-aquatiques/Gestion-quantitative-de-l-eau-secheresse/Gestion-de-la-secheresse/Cadre-general/Cadre-general>

5. Quantité

Pour les besoins du programme OAGPRO61, le BRGM a mis en œuvre une douzaine de modèles globaux (type GARDENIA) de manière à couvrir la quasi-totalité des bassins versants du département¹⁸.

Ces modèles permettent de simuler le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique global d'un bassin versant pour chercher à reproduire les signaux de débit d'un cours d'eau et de niveau des eaux souterraines à l'aide de données climatiques.

Les éléments rapportés ci-après sont issus de la compilation des données d'entrée utilisées pour le calage des modèles et d'exploitation de leurs résultats (cf. RP-74443-FR).

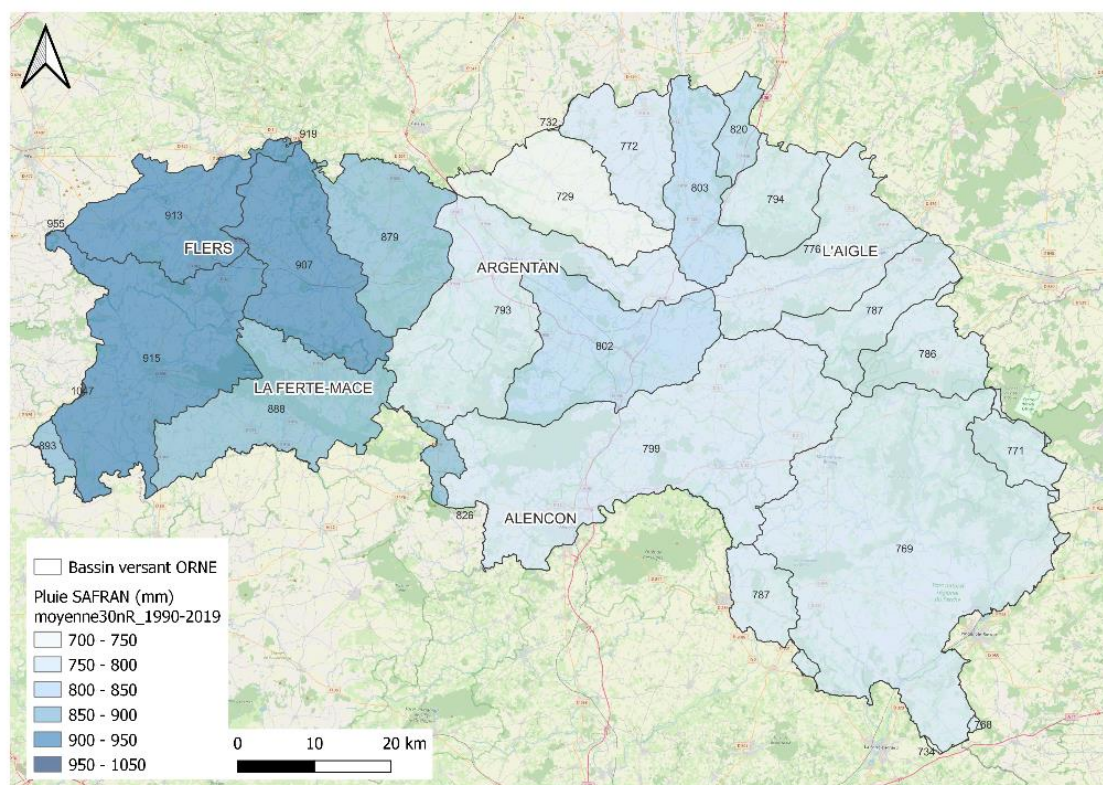
5.1. CLIMATOLOGIE

Les données de précipitation (Pluie P) et d'évapotranspiration (ETP) ont été extraites de la base de données SAFRAN de Météo-France.

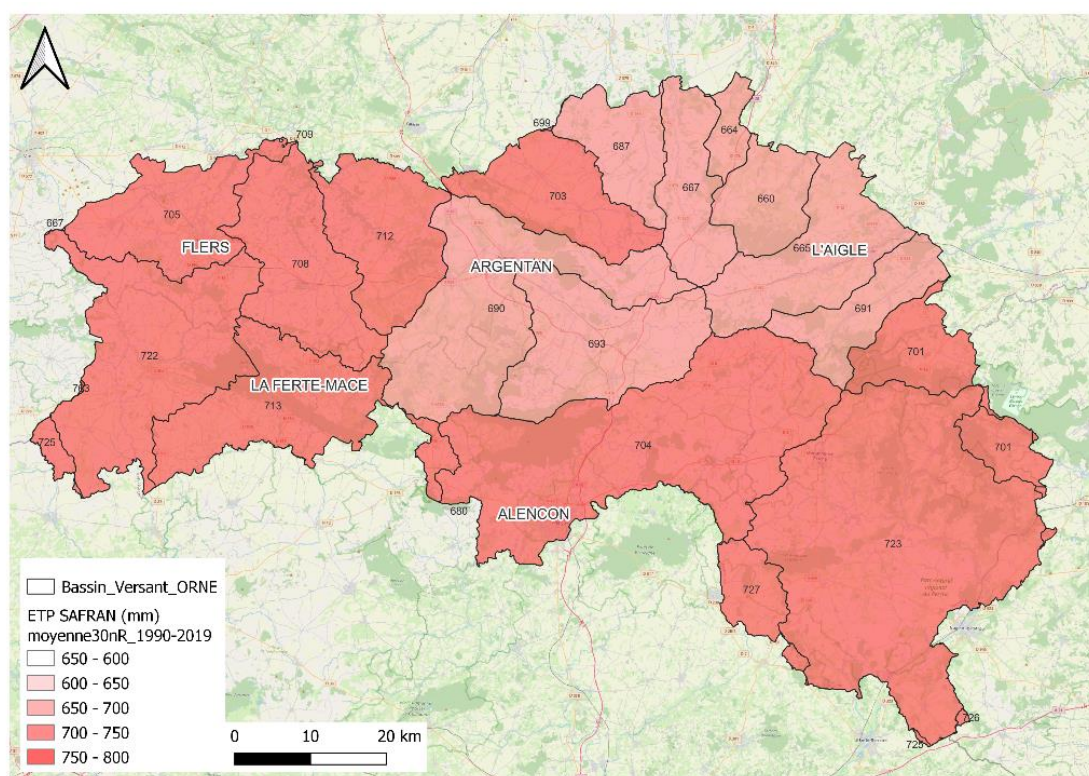
Celle-ci combine les données d'analyse de modèles météorologiques et d'observations aux stations pour produire, au pas de temps horaire, les paramètres suivants : température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident. Ils sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8 x 8 km) pour l'ensemble des mailles du territoire Français. L'ETP est calculée par Météo France selon la méthode Penman Monteith et distribuée à l'échelle de ces mailles de 8 km.

Les moyennes pondérées de ces données ont ensuite été recalculées, pour différentes périodes, en fonction de la surface occupée par chaque bassin versant par rapport à celle des mailles SAFRAN (Figure 31 page suivante).

¹⁸ sauf pour les bassins versants suivants : la Vie, et l'Orne (en aval du barrage de Rabodanges et avant sa jonction avec la Rouvre) au nord du département, le Colmont et le Sarthon à l'ouest et au sud du bassin versant de la Sarthe ; L'Orne Saosnoise et la Môme au sud-est sur le bassin de l'Huisne (cf. RP-74443-FR).



a)



b)

Figure 31 : Moyennes annuelles pondérées des pluies (a) et d'ETP (b)
calculées à partir des données SAFRAN (1990-2019)

5.2. RUISSELLEMENT

Les valeurs indicatives utilisées en première approche pour calibrer la valeur du ruissellement ont été déterminées à partir de l'indicateur d'IDPR¹⁹ (Figure 32) qui évalue la capacité du sol à permettre l'infiltration de l'eau ou à favoriser le ruissellement. Le coefficient de ruissellement a ensuite été estimé en fonction des classes de l'IDPR du Tableau 2.

En dehors des plateaux du Pays d'Auge et d'Ouche au nord-est du département de l'Orne, apparaissant comme plus infiltrants, le reste du territoire se trouve plutôt sur des formations moyennement infiltrantes (45 à 65 %) à peu infiltrantes (45 à 25 %) que ce soit en domaine de socle armoricain, ou dans la zone sédimentaire (notamment du fait du recouvrement des formations marneuses calloviennes).

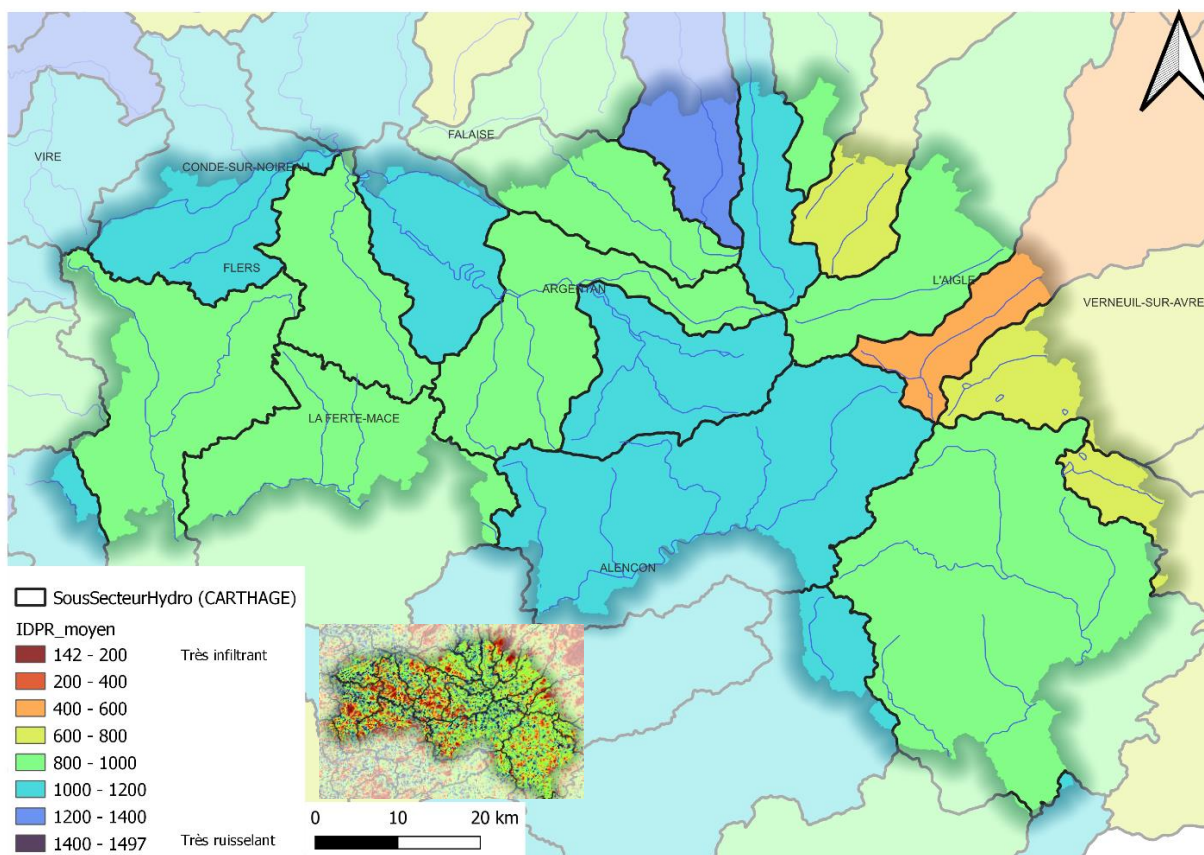


Figure 32 : Valeurs moyennes de l'IDPR (2017) pour les principaux BV du département de l'Orne

¹⁹ IDPR : Indice de Développement et de Persistance des Réseaux est indice développé par le BRGM pour qualifier le caractère plus ou moins infiltrant des formations géologiques affleurantes (Mardhel et al., 2021).

Valeur de l'IDPR	Signification	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation de l'infiltration	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation du ruissellement
0 – 200	Infiltration très majoritaire	95 %	5 %
200 - 400		85 %	15 %
400 - 600	Infiltration Moyenne	75 %	25 %
600 -800		65 %	35%
800 -1000		55 %	45 %
1000 – 1200		45 %	55 %
1200 - 1400		35 %	65 %
1400 - 1600	Ruissellement moyen	25 %	75 %
1600- 1800		15 %	85 %
1800 -2000	Ruissellement majoritaire	5 %	95

Tableau 2 : Correspondance utilisée entre la valeur de l'IDPR et le coefficient de ruissellement (Pinson et al., 2010 modifié par David et al., 2016 in RP-74443-FR)

5.3. RECHARGE

Le volume d'eau moyen infiltré (recharge) a été estimé à l'aide de modèles GARDENIA (RP-74443-FR) – (Figure 33).

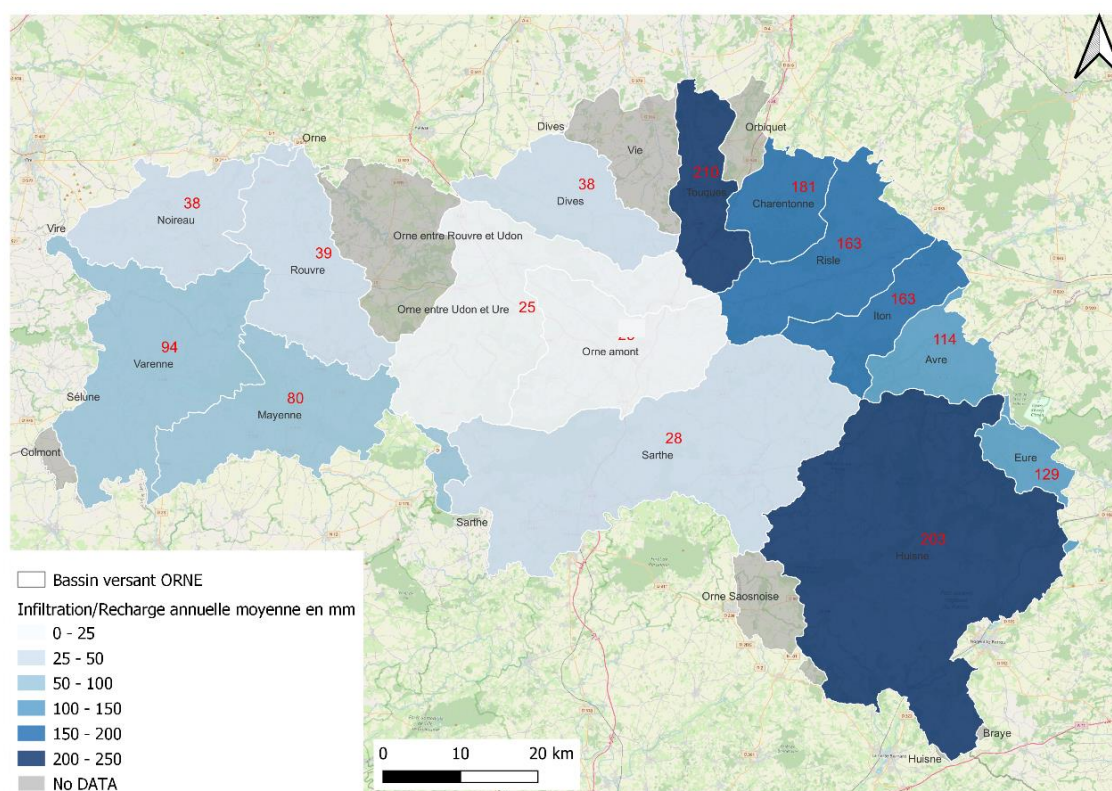


Figure 33 : Estimation de la recharge annuelle moyenne pour chaque bassin versant

5.4. CONTRIBUTION DES EAUX SOUTERRAINES AU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS

Les bilans hydrologiques obtenus à l'aide des modélisations globales fait apparaître les éléments suivants (Figure 34) :

- Les bassins versants crayeux de l'Est du département comme ceux possédant le meilleur soutien relatif au débit des cours d'eau (malgré leur fonctionnement parfois karstique). Ces bassins sont ceux également qui possèdent un potentiel intéressant pour y réaliser de futurs prélèvements, comparativement aux autres bassins versants.²⁰ Sur les bassins versants de la Vie, de la Touques et de l'Huisne, les conditions de recharge et d'exploitation des nappes superposées des formations cénomaniennes et turoniennes et de l'oxfordien méritent une attention particulière de manière à bien appréhender le fonctionnement des ressources dans ce contexte (flux d'échanges entre aquifères) et à s'assurer de leur juste renouvellement même sous l'effet de prélèvements.
- L'aquifère Aalénien-Bajocien-Bathonien, bien que largement distribué et accessible au centre du département, possède une contribution annuelle nette au débit des cours d'eau bien moins intéressante comme le démontre les résultats de la modélisation obtenus sur le bassin de la Dives et sur le bassin de la Sarthe et de l'Orne, où l'aquifère se trouve en grande partie captif. Dans ce contexte, la soutenabilité des prélèvements sur ces deux bassins pose question (évaluation recharge, effet de drainance, effets induits et cumulés des pompages). Sur le bassin de la Dives, l'usage des eaux souterraines est de plus limité par une qualité dégradée de la ressource.
- En domaine de socle, la contribution moyenne annuelle des eaux souterraines au débit des cours d'eau est bien moindre. Toutefois la contribution relative des formations du sud-ouest du département : Varenne et Mayenne s'est légèrement distinguée par comparaison avec les bassins versants du Nord-Ouest. Des études complémentaires permettraient probablement de mieux comprendre le rôle des différentes hypothèses mises en avant dans ce volet quantitatif pour les différencier des bassins de la Rouvre et du Noireau (qui possèdent à l'inverse une plus faible contribution relative annuelle de leurs eaux souterraines au débit des cours d'eau). Sur ces derniers, le potentiel global pour y accueillir de nouveaux prélèvements y est de fait moins favorable alors qu'il est plus favorable sur la Varenne et la Mayenne.
Parmi les hypothèses mises en avant dans le rapport RP-74443-FR pour expliquer cette différence on peut citer : la présence des formations paléozoïques et une différenciation des formations briovériennes et de leurs altérites (nature et épaisseur). Des études complémentaires permettraient probablement d'identifier les facteurs déterminants parmi différentes hypothèses mises en avant.

Mise en garde : la contribution relative discutée dans ce paragraphe ne présume pas de la productivité locale des nappes ni de celles des ouvrages d'exploitation des eaux souterraines.

²⁰ Attention cette étude ne constituait pas une étude de caractérisation des volumes prélevables ou disponibles pour les principaux bassins versants du département de l'Orne.

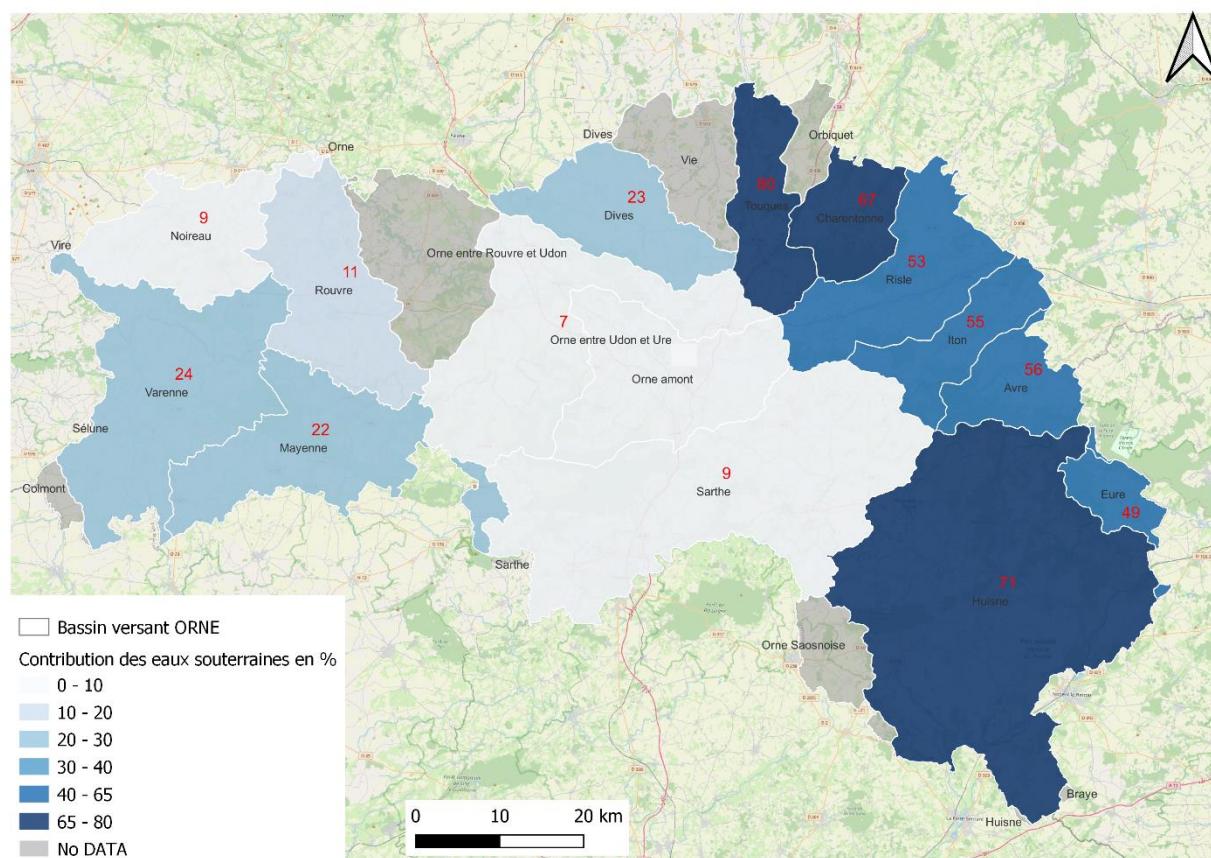


Figure 34 : Estimation de la part d'alimentation moyenne annuelle des eaux souterraines dans les bilans hydrologiques des principaux bassins versants du département de l'Orne



Figure 35 : La Sonce, affluent de l'Egrenne, traversant les barres de grès paléozoïques du domaine armoricain au niveau de la cluse de la Fosse Arthour (visible au second plan)



Figure 36 : La Vie, circulant dans les vallées encaissées du Pays d'Auge, dont les épaulements sont formés par les cuestas des formations du Crétacé, visibles en arrière-plan

Ce travail, couplé à l'analyse des données piézométriques et hydrologique, ouvre la voie à l'utilisation de ces outils de modélisation pour une meilleure gestion territoriale des ressources en eau du département de l'Orne avec des objectifs futurs d'étude de la résilience de ces ressources aux sécheresses et de leur évolution future en contexte de réchauffement global (étude changement climatique).

5.5. EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

Important : Le programme OAGPRO61 ne comportait pas d'analyse des possibles évolutions tendancielle futures des débits des rivières et des niveaux des eaux souterraines du département de l'Orne. Les éléments rapportés dans la suite de ce paragraphe sont donc issus d'une compilation de différentes études disponibles au moment de l'écriture du volet quantitatif (Rapport BRGM/RP-74443-FR).

Le calcul des moyennes trentenaires de 1960-1989 et 1990-2019 a été réalisé à l'échelle de la Normandie à l'aide des données SAFRAN²¹. Elle montre pour le département de l'Orne :

- **une distribution contrastée des précipitations** (Figure 37a), **notamment entre l'Est plus sec et l'Ouest plus arrosé** (cf. également volet 1 de l'étude, rapport RP-69331-FR) avec des moyennes trentenaires de précipitation comprises entre 690 à 990 mm/an et une évolution légèrement positive de la pluviométrie entre ces deux périodes trentenaires (Figure 37b), ce qui n'est pas le cas des façades littorales qui connaissent sur une même période des évolutions beaucoup plus marquées.
- **une augmentation de l'évapotranspiration (ETP) sur l'ensemble du département de l'Orne**, passant d'une fourchette de 610 à 700 mm/an à une fourchette de 700 à 790 mm/an, avec une augmentation significative pour l'ensemble du Sud-Est du département, en particulier sur les bassins de l'Huisne (Perche) et la Sarthe (Figure 38b).

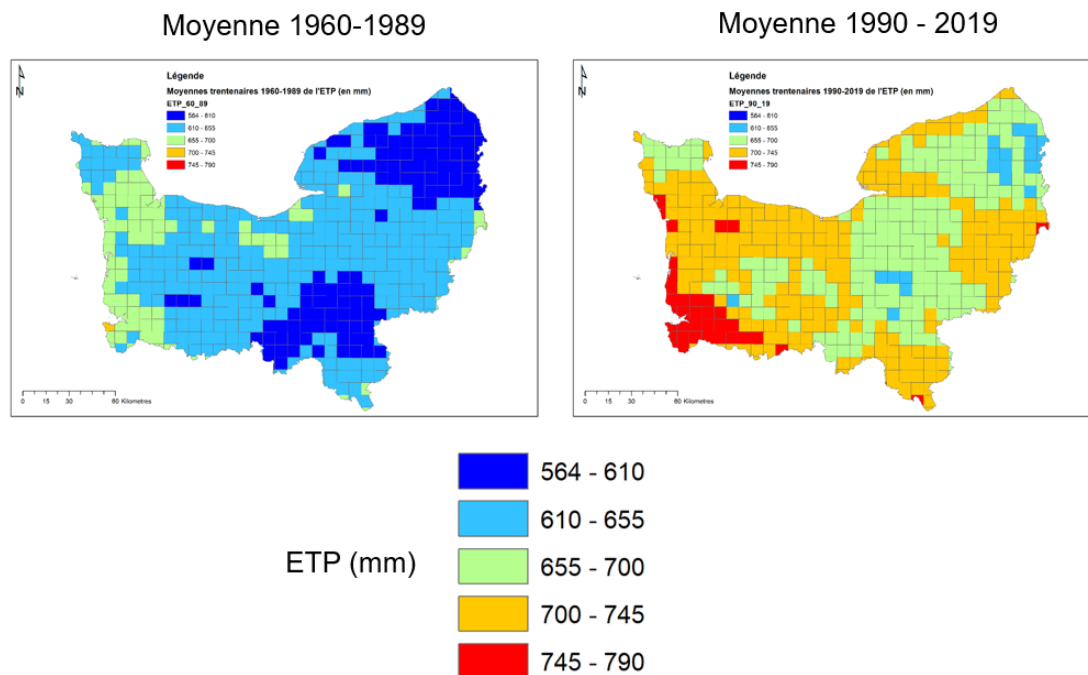
Les ressources en eau du Sud-Est du département de l'Orne apparaissent ainsi d'ores et déjà plus exposées aux effets des sécheresses météorologiques, ainsi que la plaine d'Argentan-Trun-Sées dans une moindre mesure.

Etant désormais établi que les effets du changement climatique se font déjà ressentir aujourd'hui (comme l'attestent déjà les enregistrements de précipitations et d'ETP en Normandie) et qu'une accentuation des phénomènes est attendue dans les prochaines décennies selon les prévisions du GIEC (AR6²²) ; nous nous sommes donc intéressés aux travaux qui ont cherché à modéliser l'impact de ces changements sur les ressources en eau ainsi qu'à d'autres travaux mis en œuvre ces dernières années à des échelles plus locales, notamment sur les ressources en eau du Nord du département de l'Orne, dans le cadre de l'étude quantitative PTGE du département du Calvados, couvrant également la ZRE du Bajocien-Bathonien.

²¹ David P.-Y, Lanini S. et Compère F. (2022) – Prévision de l'évolution des débits des ressources en eau du Sud Manche à l'horizon 2050. Rapport final. BRGM/RP-71398-FR, 222 p.

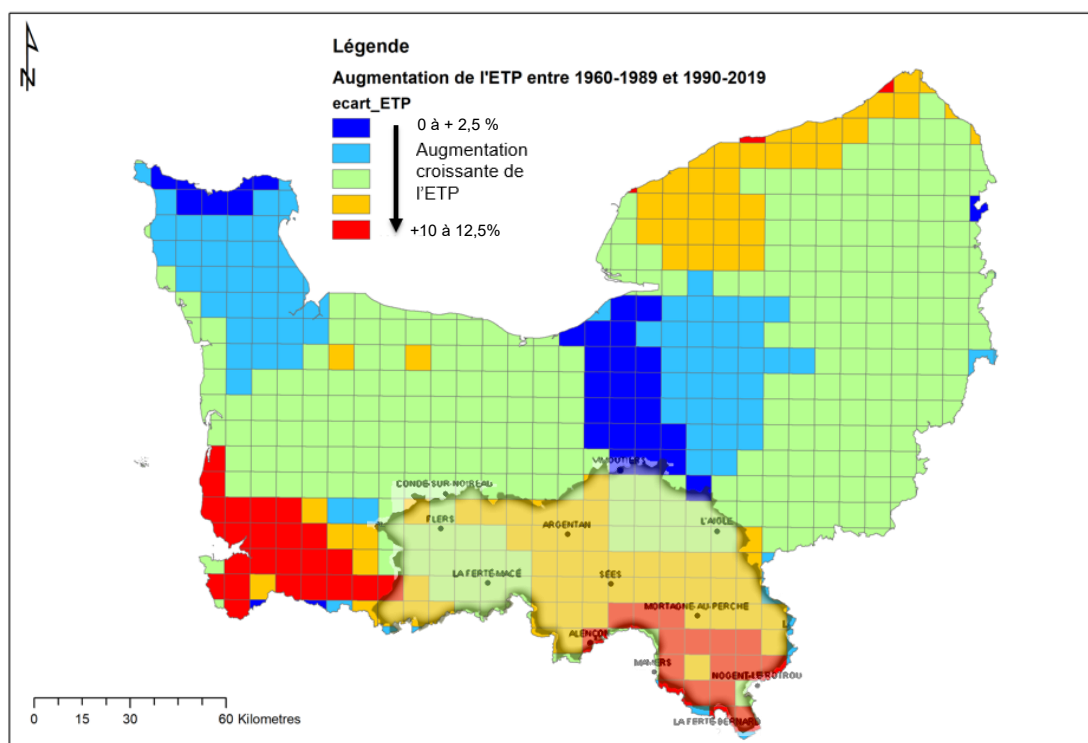
²² 6^e rapport de synthèse du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) <https://www.ecologie.gouv.fr/actualites/publication-du-6e-rapport-synthese-du-giec>

Figure 37 : Evolution des précipitations sur le territoire de la Normandie de 1960 à 2019 (données SAFRAN – Météo France) : (a) cartes moyennes trentenaires 1960-1989 et 1990-2019 ; (b) évolution entre ces deux périodes (source : Rapport BRGM RP-71398-FR)



Cartes réalisées par le BRGM à partir des données SAFRAN – publièthèque METEO FRANCE

(a)



Cartes réalisées par le BRGM à partir des données SAFRAN – bibliothèque METEO FRANCE

(b)

Figure 38 : Evolution de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) sur le territoire de la Normandie de 1960 à 2019 (données SAFRAN – Météo France) : (a) cartes moyennes trentenaires 1960-1989 et 1990-2019 ; (b) évolution entre ces deux périodes (source : Rapport BRGM RP-71398-FR)

Dans cette étude (non publiée à ce jour mais dont les résultats sont repris ici succinctement avec l'aimable autorisation du Conseil Départemental du Calvados), des approches simplifiées ont été utilisées pour simuler l'effet de 2 scénarii climatiques sur la recharge, les débits des cours d'eau et niveaux de nappe : le premier chaud et sec (modèle climatique HadGEM2 / CCLM4-8-17 avec RCP 8.5) alors que le second présente des évolutions climatiques moins marquées (CNRM-CM5/ ALADIN63 avec RCP 8.5). Les tendances ont été calculées pour deux horizons de temps différents à 2050 et 2100.

Les deux futurs possibles du climat étudiés montrent que les niveaux piézométriques et le débit d'étiage des cours d'eau des zones de socle du Nord-Ouest du département de l'Orne se trouveraient impactés à moyen et long terme quel que soit le scénario utilisé, alors que le scénario d'évolutions limitées aurait des effets plus nuancés voire positifs sur le long terme dans la zone sédimentaire.

Plus au sud, l'étude HMUC²³ réalisée sur le périmètre du SAGE Sarthe amont (Suez Consulting, 2022), a également cherché à évaluer les effets du changement climatique sur le débit des rivières. Dans ce cadre, un seul modèle climatique a été utilisé par le bureau d'études : ALADIN63 CNRM-CM5 avec 2 trajectoires d'émission de gaz à effet de serre (GES) : RCP8.5 et 4.5 dont les résultats ont été présentés uniquement sur l'horizon proche de 2050.

L'évaluation réalisée indique qu'en l'absence d'évolution positive des prélèvements sur les bassins modélisés, le débit d'étiage des rivières devrait croître, notamment sur les bassins versants de la Sarthe Amont et de l'Hoëne (petit affluent situé dans le Perche, près de Bazoches) et connaître une croissance plus modérée sur l'Orne Saosnoise. A l'inverse, un scénario d'évolution croissante des volumes prélevés verrait les débits d'étiage diminuer, soulignant ainsi l'impact des prélèvements sur des ressources à l'équilibre fragile.

Bien que la méthodologie diffère entre ces deux études, l'exploitation du modèle climatique d'évolution « modérée » du climat actuel (ALADIN63 CNRM-CM5 pour le scénario GES 8.5 plus proche de la TRACC²⁴) sur les bassins versants sédimentaires du nord et du sud du département, semblerait indiquer, à l'horizon 2050, une évolution positive limitée des débits d'étiage sur les bassins sédimentaires (en l'absence de prélèvements supplémentaires) et à l'inverse négative pour les débits d'étiage des cours d'eau du domaine de socle. NB : il n'y a pas d'information comparable pour un horizon plus lointain, ni d'information disponible pour les niveaux des eaux souterraines sur d'autres bassins versants, ou encore de comparaison avec d'autres modèles climatiques pouvant représenter d'autres scénarii d'évolution possible du climat dans le futur.

²³ Etude Hydrologie, Milieux, Usages et Climat vise à apporter des éléments de connaissances et de méthodes pour aider à la gestion de la ressource en eau, dans un contexte d'évolution des besoins et de changement climatique.

²⁴ Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC)
<https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-changement-climatique-tracc>

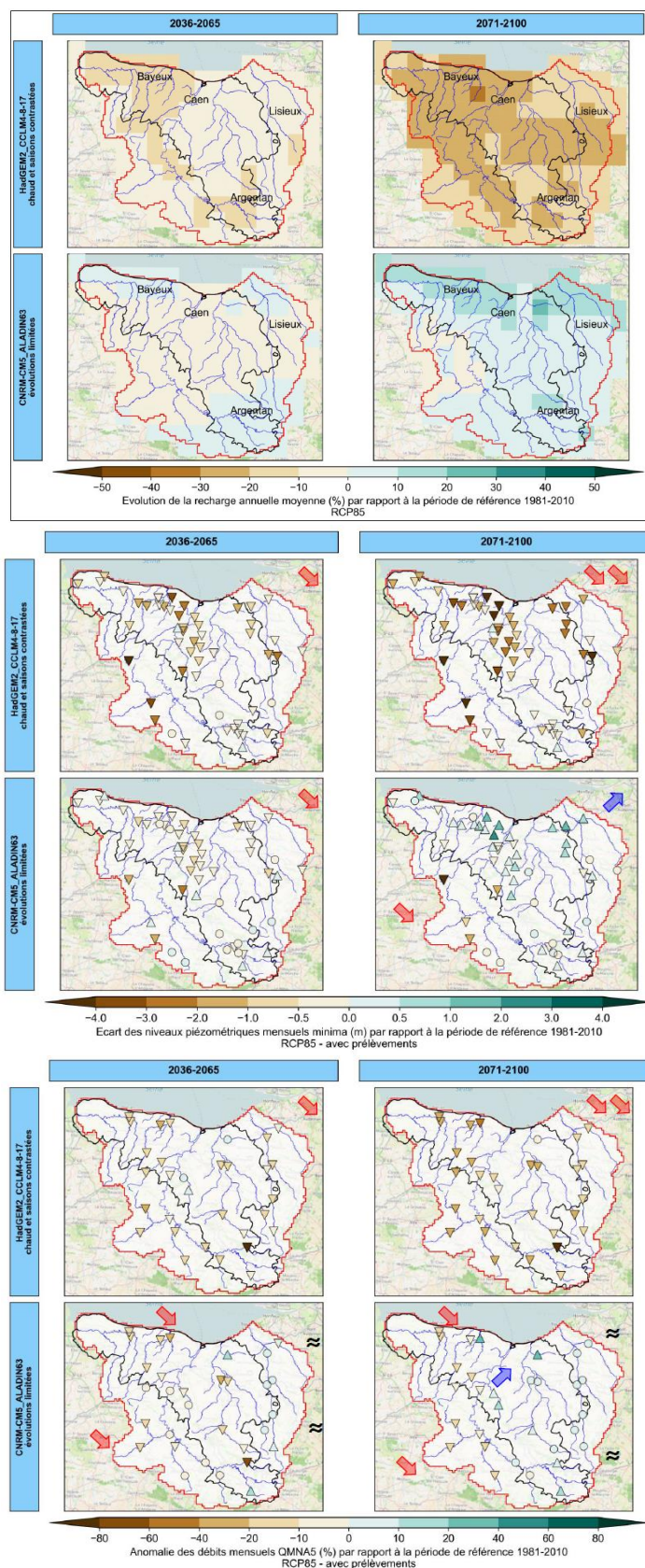


Figure 39 : Impact quantitatif du changement climatique sur les ressources en eau de la ZRE du Bajo-Bathonien et du bassin de la Touques (source : BRGM-CD14)

Il faut donc retenir qu'à ce jour, il existe encore peu d'informations comparables entre les différents bassins-versants du département pour permettre d'anticiper l'évolution des ressources en contexte de changement climatique.

Dans un contexte de tensions croissantes liées à la disponibilité des ressources en eaux, liées également à la recherche d'une satisfaction des différents besoins, ces informations quantitatives seraient utiles et nécessaires pour assurer une gestion raisonnée, durable et équilibrée des ressources en eau souterraines et de surface à l'échelle du département de l'Orne. Ainsi compte tenu de :

- la position géographique du département de l'Orne, positionnée au niveau des têtes des principaux bassins-versants du bassin Seine-Normandie et Loire Bretagne et irriguant les départements voisins : Eure, Calvados, Sarthe, Mayenne notamment ;
- la diversité géologique qui traduit des différences de comportement assez marquées des ressources en eau (souterraines et superficielles) sur les différents bassins versants,
- des usages de l'eau et en particulier de l'utilisation des eaux de surface pour satisfaire les besoins en eau potable, en particulier dans l'Ouest du département ;

et pour permettre la gestion durable des ressources eau du département de l'Orne, il apparaît aujourd'hui nécessaire de pouvoir disposer d'une approche et d'informations comparables, pour l'ensemble des bassins-versants du département, en **utilisant plusieurs scénarii climatiques (sorties de différents modèles climatiques), à l'horizon proche de 2050 et plus lointain de 2100, pour en évaluer les effets sur les ressources, les débits des cours d'eau et niveaux d'eaux souterraines du département.**

L'utilisation des outils mis en œuvre ces dernières années (modèles globaux et maillés) apparaît de ce fait tout à fait propice à cette évaluation d'ensemble.

6. Usage des eaux souterraines

6.1. ZONAGES REGLEMENTAIRES (GEST'EAU)

6.1.1. SDAGE (2022-2027) – Ressources stratégiques à réserver pour l'alimentation en eau potable

« Les collectivités territoriales et leurs groupements prélevant au sein des nappes stratégiques sont invités à mettre en œuvre des pratiques économes afin de réduire et limiter le gaspillage de ces ressources stratégiques.

Les nouvelles activités et les nouveaux prélèvements soumis à un régime de déclaration et autorisation au titre de la loi sur l'eau (L.214-1 du Code de l'environnement) et/ou soumis à déclaration, à enregistrement et à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (L.511-1 du Code de l'environnement) doivent assurer la protection des nappes stratégiques, telles qu'identifiées dans le Tableau 8 ci-avant, vis-à-vis des pollutions.

À ce titre, les déclarations et dossiers de demande justifient des moyens de prévention, d'alerte et de réduction d'impact permettant de réduire le risque de pollution à un niveau acceptable au regard de l'objectif de garantir la disponibilité, en quantité et en qualité, de la ressource stratégique pour l'AEP future. Pour les activités existantes ayant fait l'objet de déclarations et autorisations telles que visées ci-avant, les services de l'État procèdent, si nécessaire, à la mise en compatibilité de ces dernières, notamment en ce qui concerne les conditions d'exploitation des installations concernées, dans un délai de 3 ans à compter de la publication du présent SDAGE.

À ce titre, les mesures de protection des nappes stratégiques pourront notamment conduire à :

- la limitation des nouvelles autorisations d'activités mettant en œuvre des substances dangereuses susceptibles de générer une pollution des nappes ;
- la limitation des autorisations des prélèvements aux seuls captages destinés à l'AEP, à la sécurité civile et à l'usage industriel nécessitant d'utiliser l'eau de qualité non disponible par ailleurs ;
- la limitation des autorisations des autres forages industriels et des forages agricoles à certains aquifères. »

On soulignera que **la plupart des ressources sédimentaires du département de l'Orne sont concernées par ces dispositions**. La Figure 40, page suivante, souligne ces dispositions sur les bassins crayeux de l'Eure Amont, l'Avre, l'Iton et les ressources bajociennes et bathoniennes pour le bassin Seine-Normandie. Ainsi que la craie captive et le Dogger du bassin Loire-Bretagne.

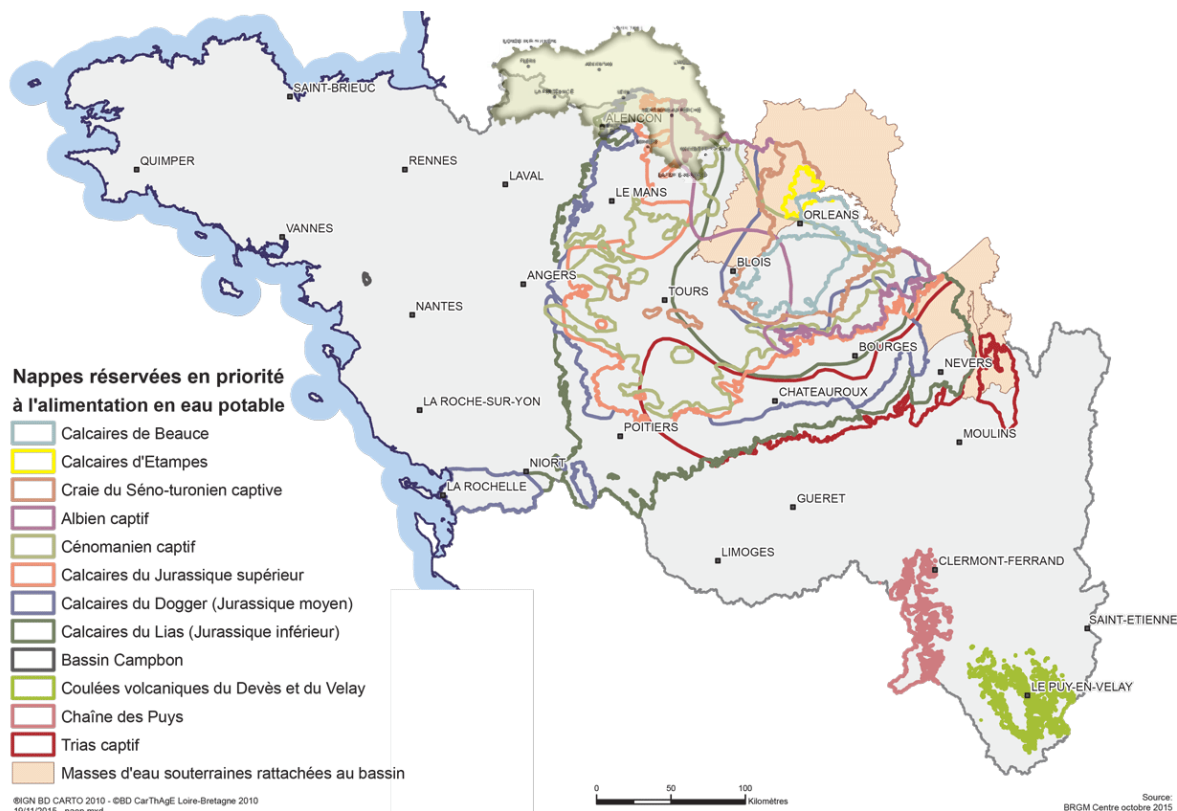
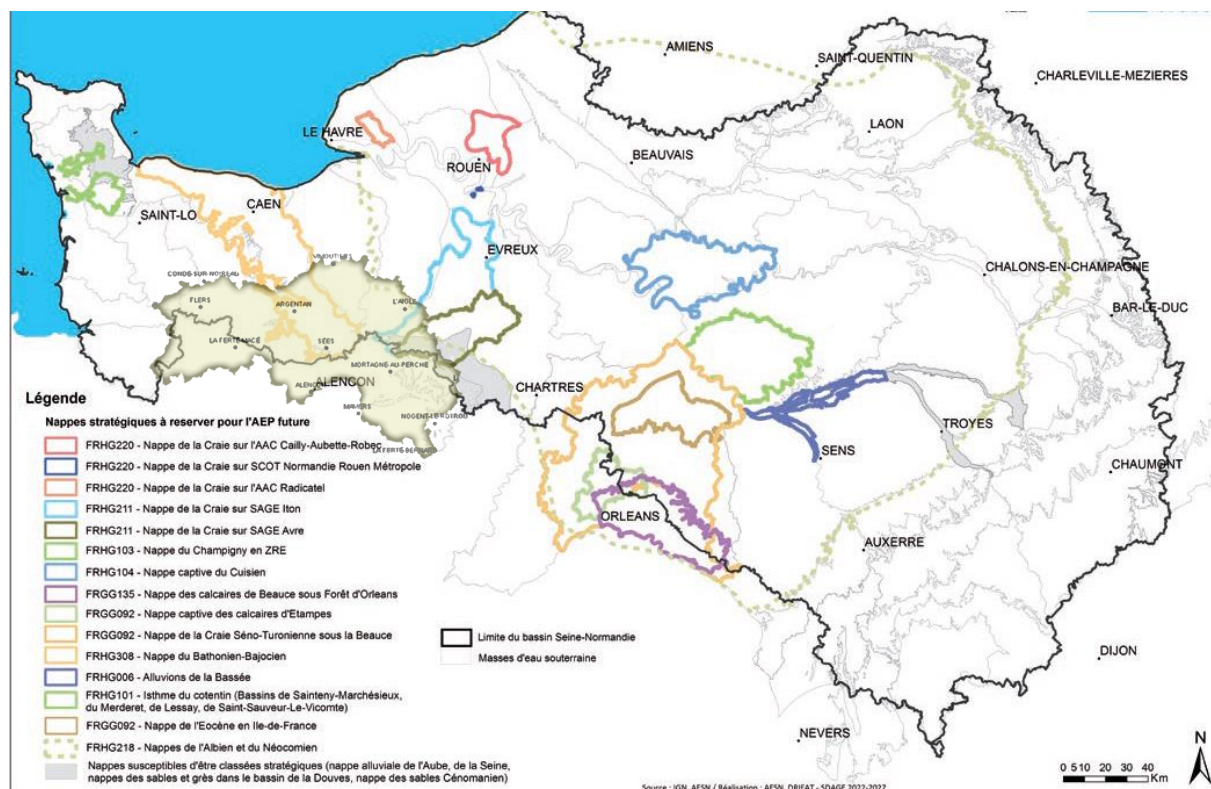


Figure 40 : Cartes des zones réservées en priorité à l'alimentation en eau potable des bassins Seine-Normandie et Loire-Bretagne (source : SDAGE 2022-2027)

6.1.2. Les SAGES

« Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) est un outil de planification, institué par la loi sur l'eau de 1992, visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau.

Déclinaison du SDAGE à une échelle plus locale, il vise à concilier la satisfaction et le développement des différents usages (eau potable, industrie, agriculture, ...) et la protection des milieux aquatiques, en tenant compte des spécificités d'un territoire. Délimité selon des critères naturels, il concerne un bassin versant hydrographique ou une nappe. Il repose sur une démarche volontaire de concertation avec les acteurs locaux. **Le département de l'Orne est quasi intégralement couvert par les périmètres des SAGE** comme le montre la Figure 41 suivante (à l'exception de la Dives et des bassins du Pays d'Auge).

Le SAGE fixe, coordonne et hiérarchise des objectifs généraux d'utilisation, de valorisation et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, ainsi que de préservation des zones humides. Il identifie les conditions de réalisation et les moyens pour atteindre ces objectifs :

- il précise les objectifs de qualité et quantité du SDAGE, en tenant compte des spécificités du territoire ;
- il énonce des priorités d'actions ;
- il édicte des règles particulières d'usage. »

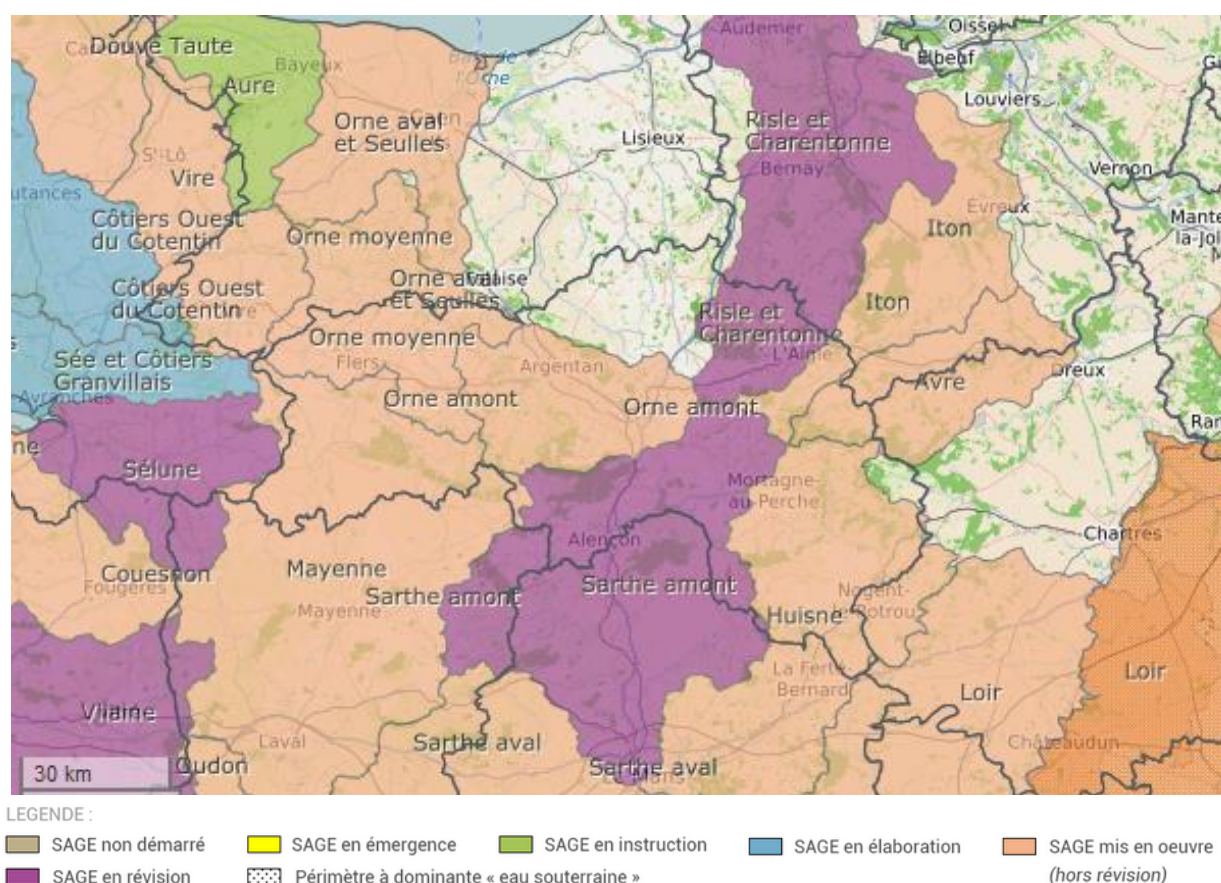


Figure 41 : Carte de situation des SAGE (source : [GESTEAU - Eau France, 2024](#))

6.1.3. Les Zones de Répartition des Eaux (ZRE)

« Les Zones de Répartition des Eaux sont des espaces géographiques sur lesquels l'eau disponible est inférieure aux besoins de la population, qu'il s'agisse d'une période de sécheresse ou non. Certains territoires peuvent disposer de peu de ressource en eau disponible naturellement, d'autres peuvent faire face à des besoins importants, voire cumuler les deux contraintes.

Les territoires classés en ZRE font l'objet de mesures particulières, afin de sécuriser l'alimentation en eau potable dédiée à l'alimentation en premier lieu, mais également pour assurer l'ensemble des activités économiques. Ainsi, les seuils de prélèvements d'eau sont abaissés. En permettant une meilleure maîtrise de la demande en eau, l'objectif est d'assurer au mieux la préservation des écosystèmes aquatiques et la conciliation des usages de la ressource. »

Deux ZRE existent dans le département de l'Orne : au nord, celle de la nappe du Bajocien-Bathonien, et au sud-est celle des sables cénomaniens captifs, dont les périmètres sont représentés sur la carte ci-dessous (Figure 43).

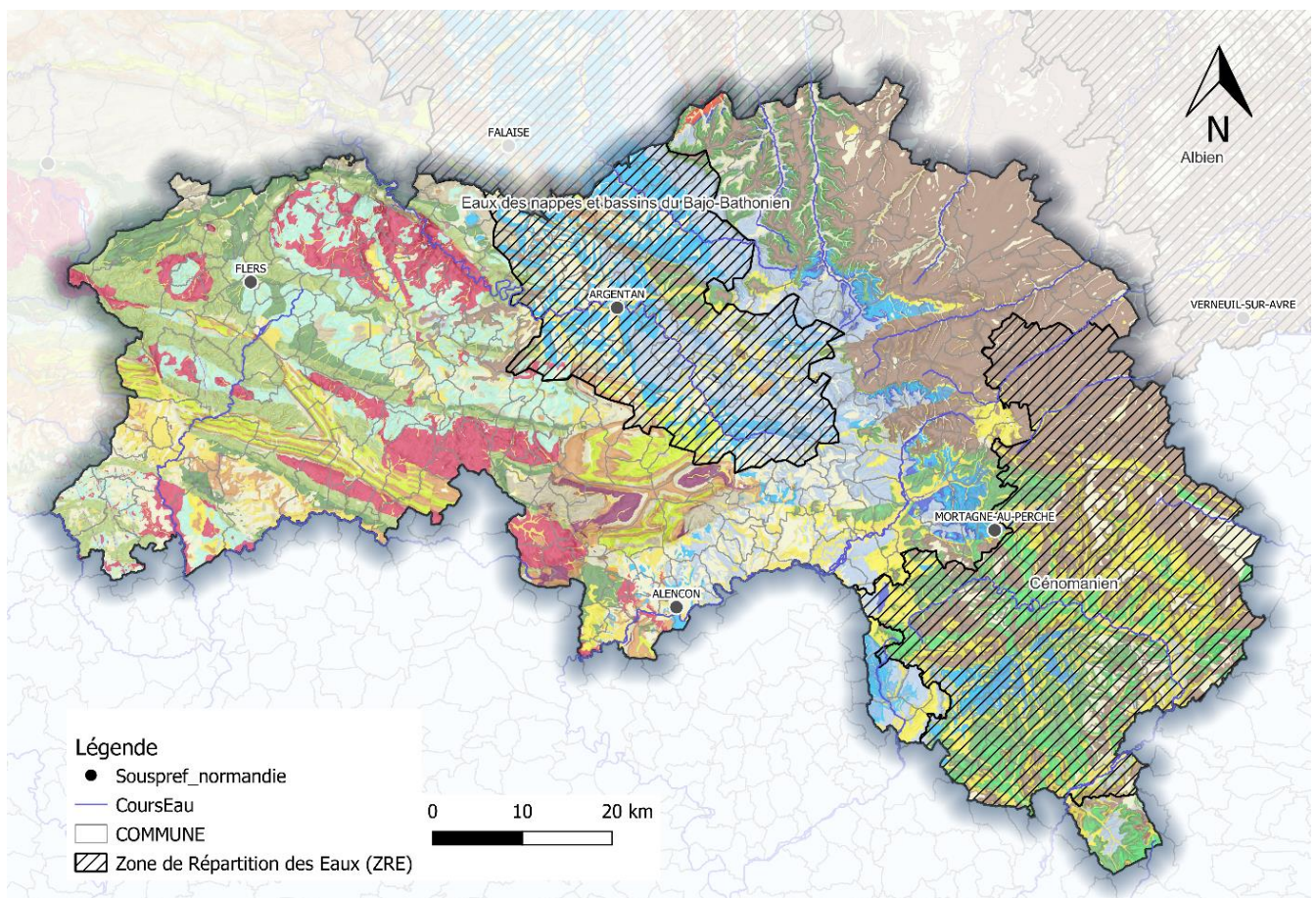


Figure 42 : Zone de Répartition des Eaux (ZRE) du département de l'Orne

Concrètement, ce classement permet d'assurer une gestion plus fine des demandes de prélèvements, grâce à l'abaissement des seuils de déclaration et d'autorisation de prélèvements par rapport aux autres territoires. Dans une ZRE, les prélèvements d'eau supérieurs à 8m³/h sont soumis à autorisation et tous les autres sont soumis à déclaration (<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/zones-de-repartition-des-eaux-zre-metropole/>).

6.2. PRELEVEMENTS

Ce volet s'appuie sur les éléments mis en avant dans le volet quantitatif du programme OAGPRO61, cf. rapport d'étude BRGM/RP-74443-FR

A l'échelle départementale, les prélèvements dans les eaux souterraines apparaissent comme relativement importants pour les bassins versants de l'Huisne, de l'Orne, de la Sarthe, de la Mayenne et de la Varenne ainsi que pour la Risle.

Ces volumes prélevés dans les eaux souterraines ont été comparés aux volumes infiltrés annuellement. Le ratio obtenu démontre qu'ils exerceraient une « pression relative » importante sur les bassins de l'Orne, de la Sarthe et du Noireau et plus modérée sur la Rouvre et la Touques.

De leur côté, les prélèvements dans les eaux de surface apparaissent comme relativement importants pour les bassins versants de la Sarthe, de la Varenne, la Mayenne, le Noireau, la Rouvre et la Vie.

Si on somme l'ensemble des prélèvements entre eaux souterraines et superficielles, ce sont les bassins suivants qui se distinguent pour l'importance des volumes qui y sont prélevés : par ordre décroissant des prélèvements, la Sarthe, l'Huisne, l'Orne, la Varenne, la Mayenne, la Rouvre, la Risle et le Noireau. Le total de prélèvements totaux (ESU + ESOU) reste à l'inverse moins important sur les têtes de bassins-versants du quart nord-est du département (Figure 43).

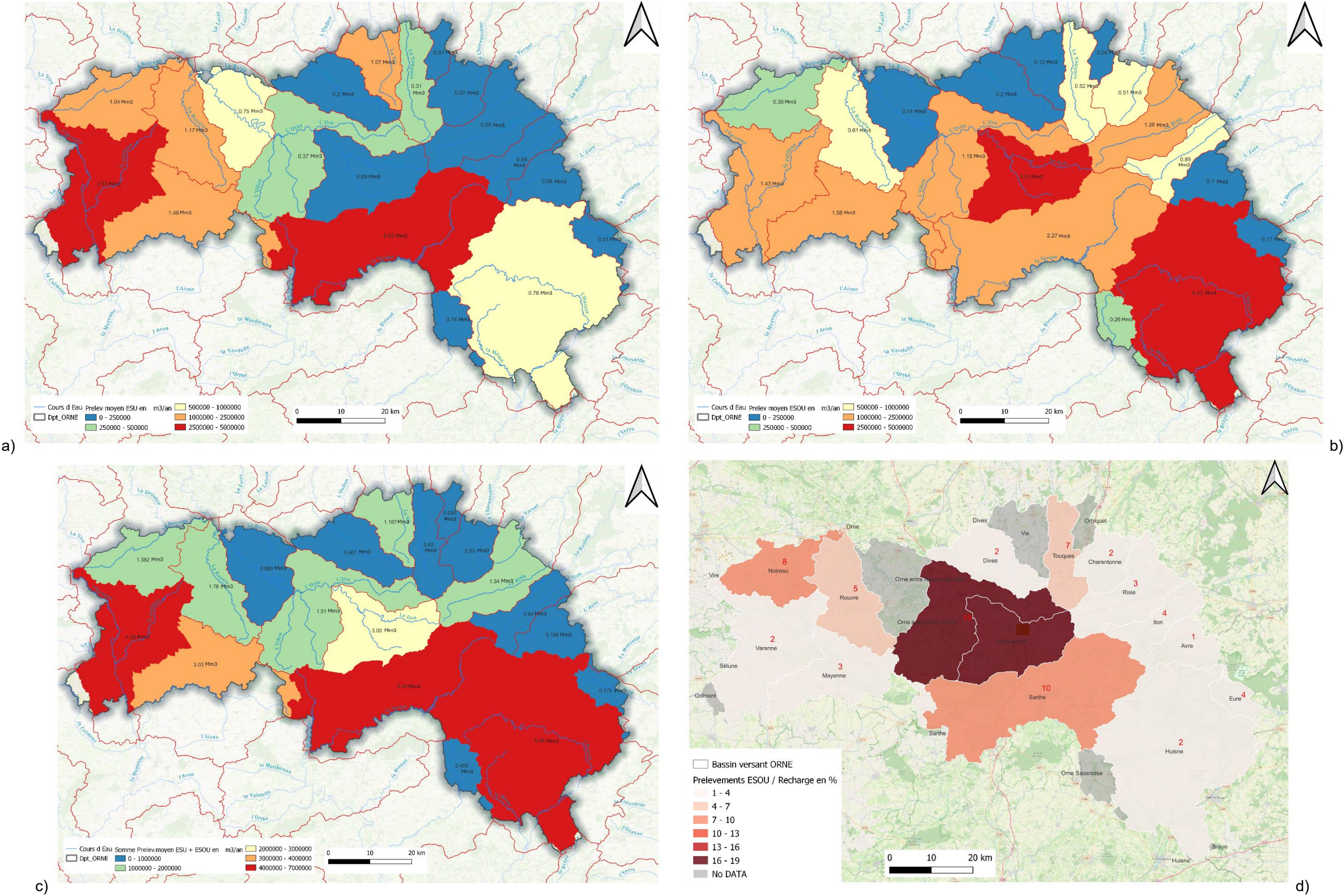


Figure 43 : Somme des prélèvements moyens annuels totaux différenciés dans les eaux superficielles a) souterraines b) et estimés pour les principaux bassins versants du département de l'Orne (chiffes en m³/an) c) et % prélèvements en ESOU/Volume annuel infiltré d) – (source Rapport BRGM/RP-74443-FR)

6.3. QUALITE

Le volet sur la qualité des eaux du programme OAGPRO61 est détaillé dans le rapport BRGM/RP-71026-FR. Celui-ci est scindé en deux volets. Le premier s'attache à caractériser la qualité naturelle des eaux en se basant sur les principes d'hydrogéochimie qui permettent d'appréhender la composition chimique des eaux en interactions avec les faciès géologiques et le fonctionnement hydrogéologiques des aquifères. La seconde analyse a porté sur l'étude des polluants quantifiés dans les eaux souterraines afin de proposer un « panorama » de la qualité des eaux, à l'échelle du département, pour les principaux paramètres indésirables et toxiques (du point de vue sanitaire) quantifiés sur les dernières décennies.

Ces analyses ont pu être réalisées sur la base des données bancarisées dans la base de données ADES et des connaissances disponibles en géologie et hydrogéologie sur le département de l'Orne.

L'analyse des faciès hydrogéochimiques montre une distinction entre les **aquifères de socle** de type $\text{SO}_4\text{-Ca}$, Na-Cl et les **aquifères sédimentaires** de type $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ (Figure 44). Au sein de ces deux domaines, il est possible de distinguer une variabilité des faciès traduisant des hétérogénéités ayant des évolutions continues ou discontinues. En effet, les eaux de certaines unités aquifères (Craie, Oxfordien et Bajocien-Bathonien) suivent des tendances d'évolution entre différents pôles (Ca-Mg-Na+K , $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl+NO}_3$) ; tandis que d'autres unités présentent des faciès différents pour une même entité aquifère (aquifères des granitoïdes et cornéennes ; aquifère des flyschs du Briovérien ; aquifère des sables du Perche, aquifères du Paléozoïque).

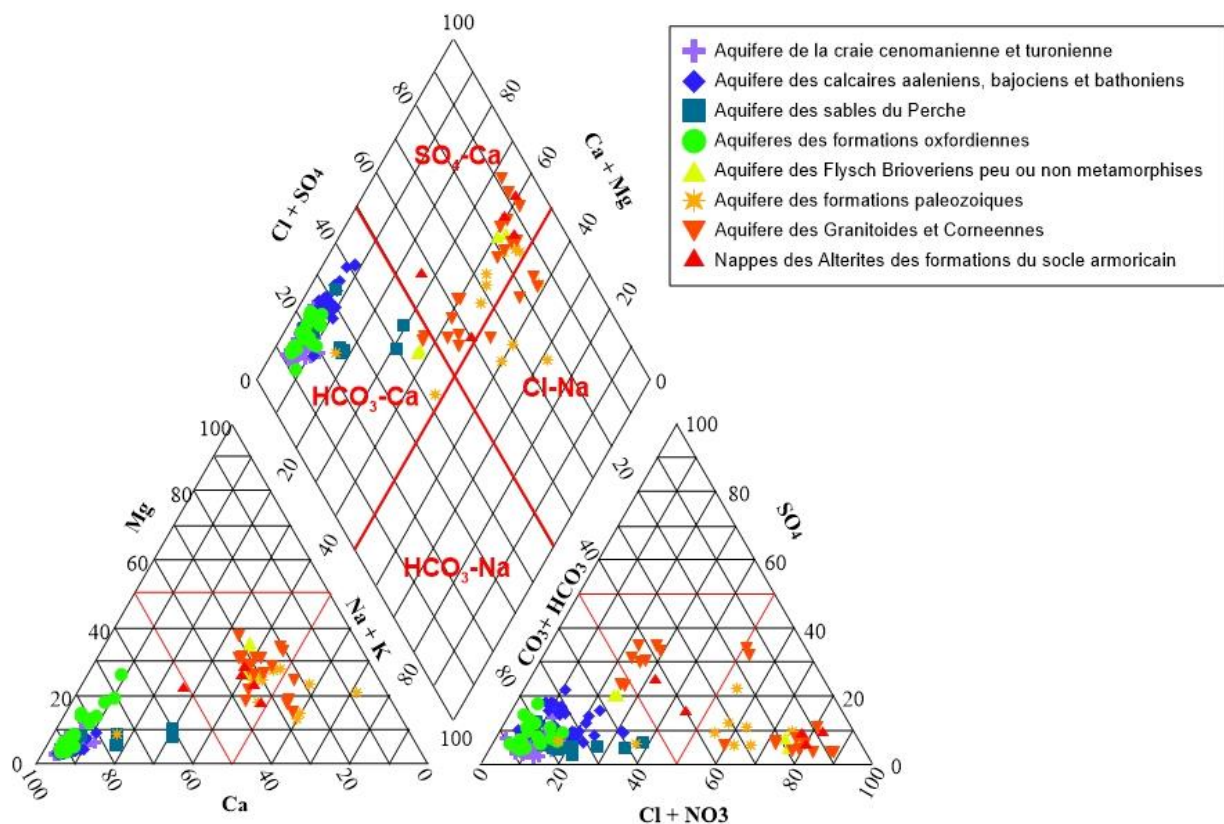


Figure 44 : Diagramme de PIPER des eaux souterraines en fonction des aquifères captés
(source : Rapport BRGM/RP-71026-FR)

Concernant les polluants, un « screening » des principaux paramètres ayant dégradé la qualité des eaux a été réalisé retenant les plus critiques tels que les nitrates et les phosphates, cette analyse a également été complétée par celle d'éléments traces tels que les métaux et l'arsenic et les micropolluants organiques, dont quelques éléments succincts sont rapportés ci-après.

Les principaux dépassements de la norme sanitaire en nitrate (50 mg/l) sur la période (1996-2020) sont principalement observés sur les secteurs d'Argentan, Flers, le sud-est du département de l'Orne (Perche). Tout comme les phytosanitaires, le nitrate est principalement rencontré dans les ouvrages captant les parties libres des aquifères, les nappes captives apparaissant comme davantage protégées. On constate de fait, une distribution des composés phytosanitaires sur l'ensemble du département aussi bien en domaine de socle qu'en domaine sédimentaire.

Parmi les éléments traces, on a identifié la présence de fer et de manganèse largement distribuée sur tout le département. La présence de ces deux métaux, essentiellement d'origine naturelle, a pu être reliée aux formations paléozoïques et méta-sédimentaires du Briovérien du domaine de socle armoricain (à l'ouest du département) et à certaines formations sédimentaires à l'est du département (notamment dans les sables du Perche, roussier, glauconie de base). Ces deux éléments (Fe et Mn) peuvent ainsi dépasser les seuils de qualité pour l'eau potable dans les eaux souterraines.

Pour les autres métaux, des dépassements ont également été constatés pour l'Arsenic. Bien que sa présence puisse également avoir une origine naturelle (par exemple par oxydation de l'arsenopyrite présente dans les schistes du socle armoricain), il semblerait que sa présence soit principalement associée aux activités industrielles.

Un intérêt a été porté au thallium suite à la problématique soulevée depuis 2012 (Rapport RP-63615-FR²⁵). Des premières expertises ont pu souligner que l'aquifère du Bajocien-Bathonien peut localement présenter des valeurs pouvant atteindre 1 à 3 µg/l, donc parfois supérieure à la valeur guide de 2 µg/l fixée actuellement par l'US EPA (pas d'autre valeur guide ou seuil disponible). Il a donc été recommandé d'assurer le suivi de cet élément lors de l'exploitation des ouvrages AEP exploitant des ressources en eaux souterraines en contexte carbonaté. Concernant le sélénium, le baryum et le fluor, leur présence est également détectée en trace dans les eaux. Là également, leur origine est vraisemblablement naturelle, les concentrations sont faibles et aucun dépassement du seuil ou références de qualité des eaux potables n'est observé dans les aquifères sédimentaires du territoire.

Enfin, le risque radon a été pointé dans le secteur de la Ferté-Macé et d'Alençon confirmant les études antérieures.

Concernant le paramètre « turbidité », celui-ci entraîne le déclassement de certains points d'eau en raison de valeurs supérieures au seuil de qualité de 1 NFU, généralement associé à de fortes concentrations en fer, mais pouvant également être le révélateur de fonctionnement de type karstique ou encore d'une forme de sensibilité aux échanges avec les eaux de surface (et donc le témoin d'une forme de vulnérabilité de la ressource).

Les dépassements des seuils qualité vis-à-vis des polluants organiques sont, depuis 2010, principalement causés par des molécules d'origine phytosanitaires. On citera en particulier la

²⁵ LAURENT A., VITTECOQ B., COUËFFÉ R., LIONS J., TOURLIÈRE B. (2014) – Avis sur la présence de thallium dans les eaux souterraines de Basse-Normandie. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-63615-FR. 27 p.

famille des triazines et métabolites mais également des acétamides et métabolites, des amides, des triazoles et d'autres produits phytosanitaires tels que AMPA, bentazone, dinoterbe, glyphosate, bromacil, CGA354742 (métabolite du dimétachlore), diuron, éthidimuron, chloridazone. Cette diversité de composés retrouvée dans les eaux souterraines indique probablement des sources et usages différents mais leur large distribution témoigne, dans leur ensemble, d'une vulnérabilité spécifique importante des ressources en eau souterraines.

Concernant les polluants organiques autres que phytosanitaires, on note quelques dépassements associés aux COHV, solvants chlorés et HAP. On retrouve principalement les COHVs et les HAPs à proximité des grands centres urbains et des activités industrielles historiques. En particulier sur les secteurs de Flers, Couterne-Bagnoles, Argentan et Alençon. Il est à noter que les pollutions en trichloréthylène et tétrachloroéthylène sont principalement observées sur les points du réseau de surveillance des sites industriels. On trouve également ponctuellement des traces de HAPs sur quelques captages d'alimentation en eau potable.

Ces résultats, cumulés pour l'ensemble des composés suivis dans les eaux souterraines, impliquent parfois des dépassements des normes européennes qui peuvent être assez fréquents, en particulier autour des principales agglomérations du département (Figure 45 ci-après). Ce constat démontre une fois encore une forte vulnérabilité des aquifères du département de l'Orne face aux activités humaines.

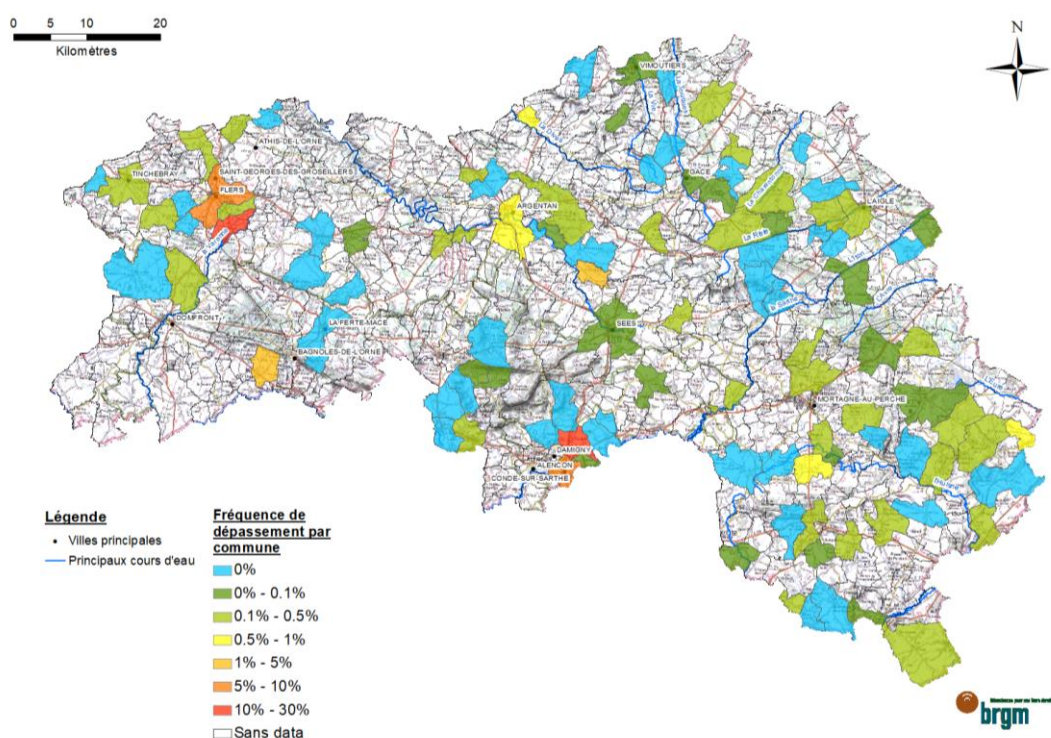


Figure 45 : Fréquence de dépassement de la Norme DCE sur la période 2016-2020
(chiffres rapportés à la commune en fonction du nombre d'analyses) - source : Rapport BRGM/RP-71026-FR

Attention, les paramètres concernés et mécanismes conduisant à ce constat peuvent diverger d'un bassin à l'autre, nous invitons le lecteur à se référer au contenu du rapport sur ce volet qualité pour plus d'informations. On rappellera par ailleurs que ce constat est fait pour les eaux brutes, c'est-à-dire non traitées et ne correspondent donc pas à des eaux distribuées pour l'alimentation en eau potable dans le réseau public.

6.4. GEOTHERMIE

6.4.1. Potentiel de la géothermie de surface

La géothermie dite de surface permet de capter les calories du sous-sol entre 0 et 200 mètres de profondeur afin de produire de l'énergie thermique (chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement, climatisation). Souvent couplés à une machine appelée pompe à chaleur, les dispositifs utilisés peuvent, selon les cas, s'adapter aux maisons individuelles, aux grands bâtiments tertiaires ou à des quartiers entiers.

Une étude du potentiel géothermique de très basse énergie basée sur l'évaluation de la quantité d'énergie qui pourrait être extraite du sous-sol via deux techniques éprouvées : les échangeurs verticaux (en boucles fermées) aussi appelés sondes verticales ou les doublets sur nappe (en boucles ouvertes) a été réalisée par le BRGM²⁶ pour préciser ce potentiel pour la Région Normandie.

La seconde technique permet d'exploiter directement les calories des nappes d'eau souterraines. L'ensemble doit être couplé à une pompe à chaleur, qui permet d'élever ou d'abaisser la température extraite du sous-sol afin d'optimiser la production de chaud en hiver et de froid en été.

Dans le département de l'Orne, les formations de socle et calloviennes de l'Ouest et du centre du département sembleraient particulièrement favorables à l'exploitation sur sondes verticales (Figure 46).

²⁶ Armandine Les Landes A. [BRGM], Maragna C. [BRGM], Rodriguez, P. [Inddigo], Fréchin, N. [ANTEA] 2024.

Estimation du potentiel de la géothermie de surface sur le territoire de la région Normandie. Note technique finale

V2. RP-73583-FR, 80 p.

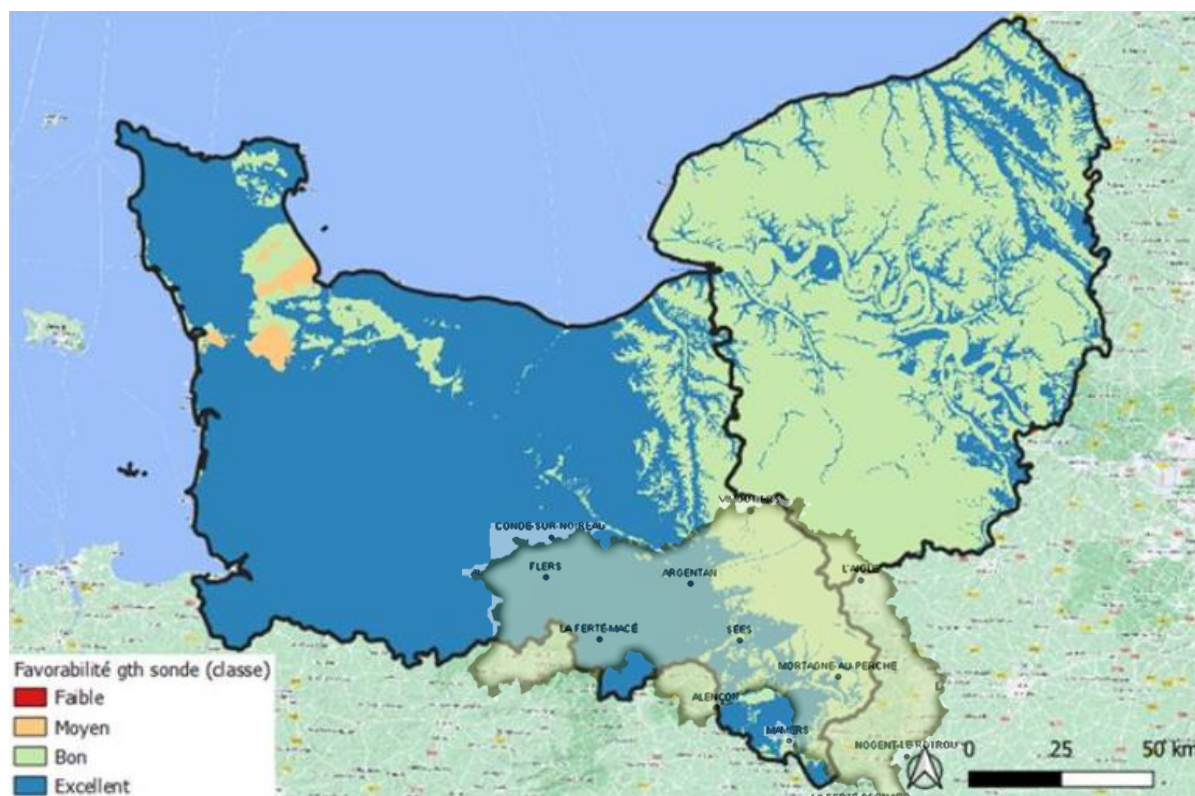


Figure 46 : Cartographie de la favorabilité de la géothermie de surface sur sondes géothermiques verticales
(RP-73583-FR, modifié)

Les nappes des aquifères sédimentaires de l'Est du département seraient particulièrement favorables (Figure 47) à l'exploitations de boucles ouvertes (sur nappe).

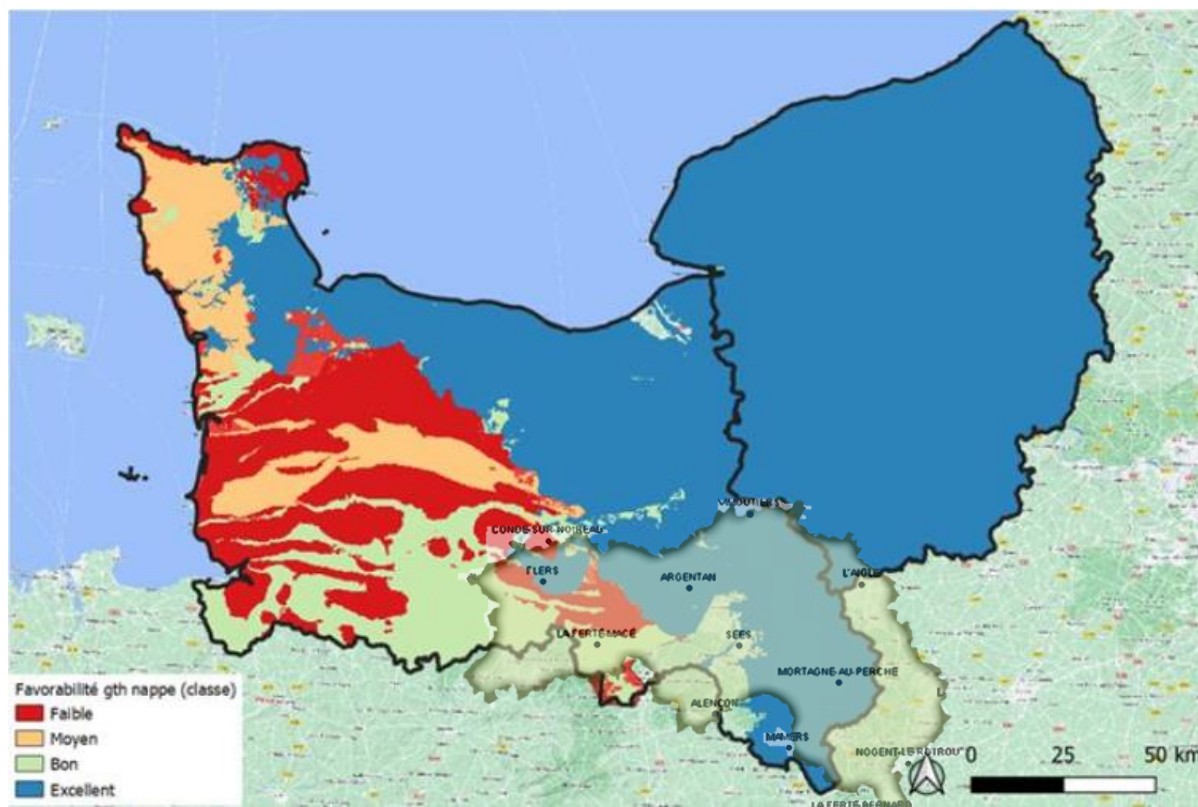


Figure 47 : Cartographie de la favorabilité de la géothermie de surface sur nappe (RP-73583-FR, modifié)

6.4.2. Réglementation

En 2020, une révision des zones réglementaires en matière de Géothermie de Minime Importance (GMI) a été engagée en particulier pour disposer d'une carte régionale sur la région Normandie, conformément à l'arrêté du 25 juin 2015, qui prévoit la possibilité de réviser la carte nationale à l'échelon régional afin d'apporter plus de précisions en fonction des phénomènes indésirables redoutés de la carte.

Cette révision régionale permet une délimitation des zones réglementaires beaucoup plus précise et d'apporter également plus de précisions en matière de connaissance et de localisation des phénomènes redoutés²⁷.

Au total, 6 nouvelles cartes réglementaires de la GMI ont été réalisées au niveau de la région Normandie couvrant les gammes de profondeur suivantes [10 m-50 m], [10 m-100 m] et [10 m-200 m] pour les systèmes ouverts et fermés à la maille de 250 mètres de côté (Figure 48). Elles distinguent trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code Minier :

- les **zones dites « rouges »** dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du

²⁷ Jallais N. (BRGM), Rajon G. (CEREMA), Coudray N. (CEREMA), Flahaut R. (CEREMA) (2023) – Cartographie réglementaire de la Géothermie de Minime Importance en région Normandie. Rapport final. BRGM/RP-72225-FR, 103 p.

régime de la minime importance. Pas de procédure simplifiée, un dossier d'autorisation doit être déposé ;

- les **zones dites « oranges »** dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter de dangers et inconvénients graves, mais dans lesquelles est exigée la production d'une attestation de compatibilité d'un projet de géothermie de minime importance, rédigée par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié. La déclaration du projet est réalisée via un téléservice avec attestation de compatibilité d'un projet de GMI établie par un expert agréé ;
- les **zones dites « vertes »** dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves. La déclaration du projet est réalisée via un téléservice.

Les zones réglementaires de la GMI s'appuient sur 9 phénomènes géologiques, hydrogéologiques et environnementaux redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Conformément au guide méthodologique de 2015, les phénomènes retenus sont :

- Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités minières ;
- Mouvement de terrain de type glissement ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe ;
- Biseau salé – salinisation (non concerné dans le département de l'Orne).

On précisera que ces études ont été réalisées et publiées avant la mise à disposition des cartes piézométriques des principales formations aquifères du département de l'Orne (Rapport BRGM/RP-73813-FR). Il conviendra alors aux pétitionnaires de prendre connaissance de ces données et informations supplémentaires dans le cadre de leurs projets.

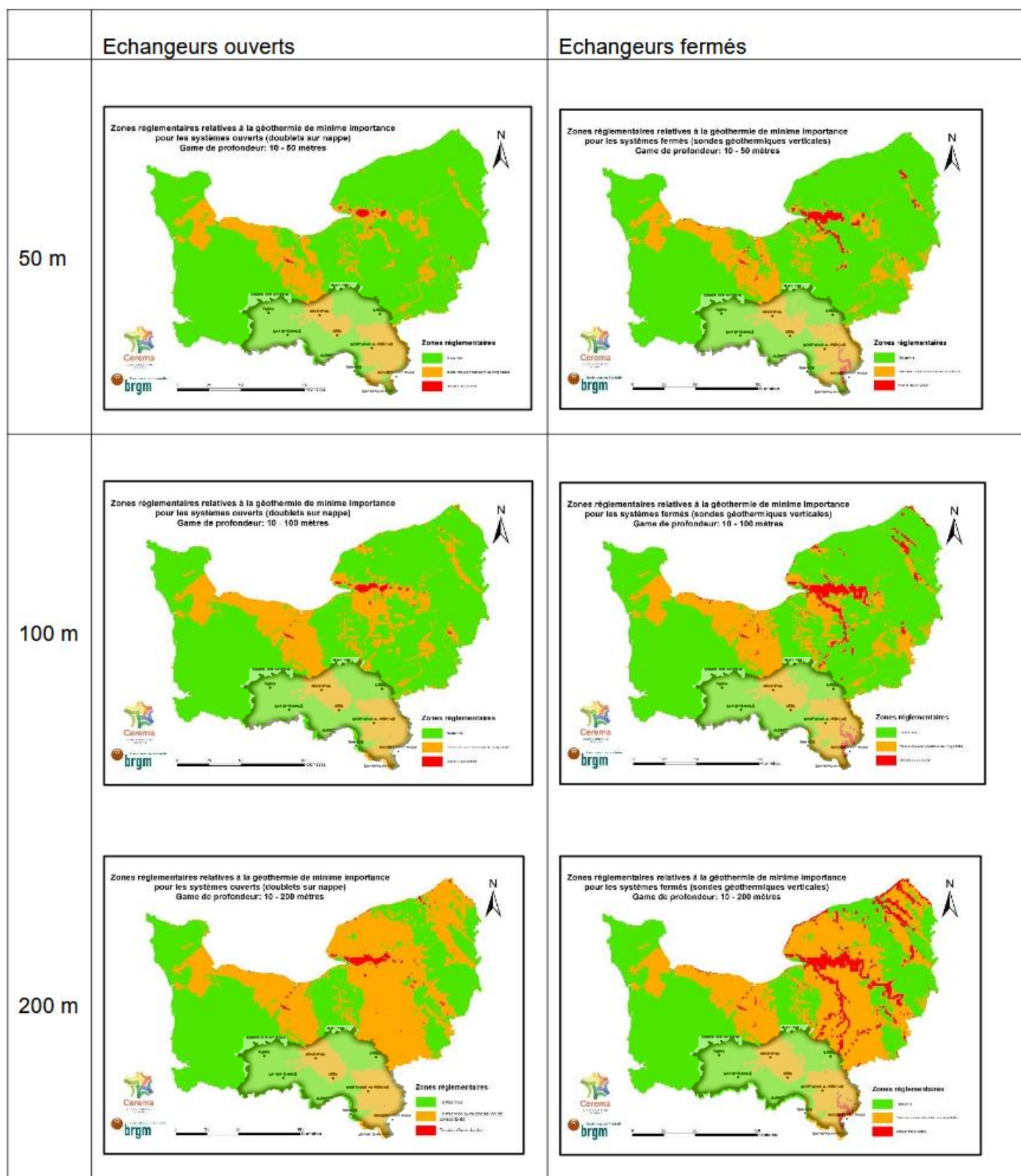


Figure 48 : Cartes réglementaires de la géothermie de minime importance au niveau de la région Normandie pour la géothermie sur échangeurs ouverts (gauche) et fermés (droite) et pour les profondeurs 50 m, 100 m et 200 m – Source : cartographie réglementaire modifiée (Rapport BRGM/RP-72225-FR)

6.5. RAPPELS POUR LA CREATION DE CAPTAGES D'EAU SOUTERRAINE (PUITS, FORAGES, PIEZOMETRES)

6.5.1. Réglementation

Quatre types de réglementations peuvent s'appliquer aux forages d'eau :

- Le **code de l'environnement** (articles R.214-1 et suivants)
 - **La réglementation loi sur l'eau**, encadre la réalisation de tout sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau
 - **La réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement – ICPE**
- Le **code de la santé publique** pour les forages destinés à un usage alimentaire et/ou sanitaire (articles R132-6 à R 1321-10 et R1322-4)
- Le **code minier** (article 131, article L411-1), pour tous les ouvrages de plus de 10 m de profondeur
- Le **code général des collectivités territoriales** (article L. 2224-9) pour les ouvrages domestiques

La réalisation d'un sondage, forage, puits, ouvrage souterrain non domestique doit suivre différentes étapes, rappelées dans l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003 (arrêté « forage »). Des fiches synthétiques issues du guide d'application de cet arrêté sont consultables dans les [SIGES](#) Seine-Normandie :

1. Les conditions d'implantation d'un forage
2. Organisation d'un chantier de forage et prévention des risques de pollution
3. Les conditions techniques de réalisation d'un forage : précautions particulières et foration
4. Les conditions techniques de réalisation d'un forage : la cimentation
5. Les conditions techniques de réalisation d'un forage : mise en place de la crépine, du massif filtrant, nettoyage et développement
6. L'équipement de la tête d'un forage
7. Les tests de pompages
8. Les rapports de fin de travaux
9. La surveillance de l'état du forage
10. Les conditions d'abandon d'un forage

A noter : depuis 2007, il existe une norme (NF X 10-999) pour les forages d'eau et de géothermie. Ce document vient en complément de la réglementation en vigueur et décline des préconisations techniques pour la réalisation, le suivi et l'abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages (document mis à jour en 2014).

6.5.3. Plateforme DUPLOS

[DUPLOS](#) (Déclaration Unifiée Pour Les Ouvrages Souterrains) est un téléservice qui vous permet de déclarer un projet de forage(s) aux titres du Code minier et/ou du Code général des collectivités territoriales (forages domestiques), respectivement pour ouvrages souterrains de plus de 10 m de profondeur. Ce téléservice permet de simplifier et unifier la procédure administrative.

Information aux usagers :

- Cette déclaration ne vaut pas autorisation ou déclaration de réaliser l'ouvrage au titre des autres réglementations qui peuvent s'appliquer à votre projet (loi sur l'eau, ICPE, code minier L162-10, code de la santé publique).
- Votre déclaration sera transmise aux services de l'Etat (D(R)EAL, DDT, Mairie) en charge de la réception de ces formalités.
- **L'obtention du code BSS, identifiant unique pour chaque ouvrage concerné, ne sera attribué qu'au moment du dépôt de votre rapport de fin de forage**

7. Conclusion

Ce rapport d'Atlas hydrogéologique du département de l'Orne, synthétise les résultats du programme « Outils d'Aide à la Gestion et à la Protection des Ressources en Eau – OAGPRO » mené dans le département de l'Orne entre 2019 et 2025 par le BRGM, à la demande du Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne (SDE61) et avec le soutien des Agences de l'Eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne.

Ces travaux permettent de disposer d'un « outil de connaissance et d'aide à la décision » pour une gestion durable et équilibrée des ressources en eau, essentielle dans un territoire à la position hydrologique stratégique entre les bassins Seine-Normandie et Loire-Bretagne.

Dans ce rapport, le lecteur trouvera des informations sur le fonctionnement des ressources en eau souterraines (mais aussi superficielles). Il s'agit du premier document de synthèse produit à cette échelle pour l'ensemble des acteurs de l'eau travaillant dans le département de l'Orne.

Situé entre le Massif Armoricain et le Bassin Parisien en région Normandie, le département de l'Orne se caractérise par une grande diversité géologique : à l'ouest, des formations armoricaines « anciennes » de granites, schistes, grès et roches métamorphiques (dites de socle), et à l'est, des formations sédimentaires composées de calcaires, marnes et sables du Jurassique et du Crétacé. Ces formations géologiques abritent plusieurs types d'aquifères, dont la configuration est souvent compartimentée, tant verticalement que latéralement, par la superposition ou mise en contact d'unités lithologiques différentes, par leur altération et leur structuration par des failles et des déformations régionales.

Dans les différents volets de ce programme d'étude, l'influence de la géologie (et de l'hydrogéologie) sur le fonctionnement hydrologique des principaux cours d'eau du département a pu être soulignée.

Les aquifères de socle, discontinus et liés à la fracturation, présentent des ressources limitées mais localement productives, tandis que les aquifères sédimentaires, plus étendus, sont généralement plus productifs. Les caractéristiques hydrogéologiques et la dynamique des principales nappes exploitées y sont également précisées permettant de mieux appréhender le fonctionnement de ces grands ensembles et de préciser leur contribution annuelle moyenne dans le cycle hydrologique des principaux bassins versants du département.

Des cartes piézométriques et hydrogéologiques départementales ont été établies pour les principaux aquifères (socle, bajo-bathoniennes, oxfordiennes et crétacées). Ce travail a été accompagné d'analyses des séries temporelles (chroniques de niveau) permettant de mieux appréhender les comportements différenciés des nappes. Le rapport aborde également le rôle des eaux souterraines dans la remontée de nappes et la résilience des bassins versants face aux sécheresses, ainsi que leur contribution au fonctionnement global des hydrosystèmes.

L'ensemble de ces ressources en eaux souterraines se révèle toutefois vulnérable en raison de leur faible profondeur et épaisseur, ou du fait d'échanges avec les formations superficielles exposées aux activités humaines, ou encore par des échanges avec les eaux de surface. Ces facteurs contribuent alors à la dégradation de la qualité des eaux souterraine et contrarient alors leur utilisation pour la production d'eau potable.

Dans un contexte de pressions croissantes liées aux usages, à la pollution et au changement climatique, le BRGM recommande de renforcer le suivi hydrologique des cours d'eau et

hydrogéologique (des principaux aquifères). En effet, malgré un réseau d'observation d'environ 46 points de mesure (piézomètres), certaines zones du département demeurent insuffisamment suivies pour les eaux souterraines. Dans la perspective d'acquisitions complémentaires, le BRGM a également recommandé de développer l'usage des modélisations prospectives afin d'évaluer, par des méthodes comparables, les effets du changement climatique, à moyen et long terme, sur l'ensemble des ressources en eau du département de l'Orne.

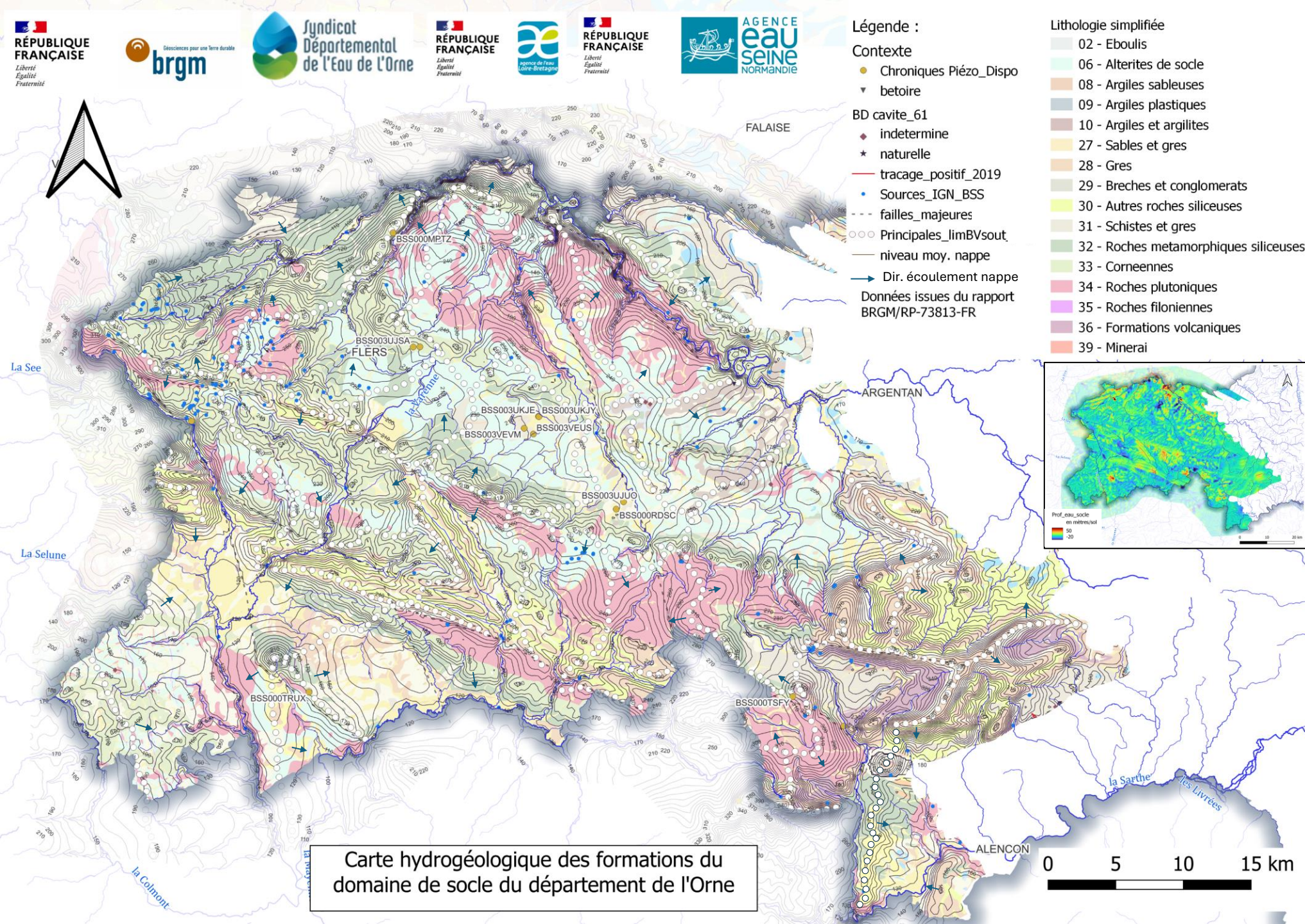
Annexe 1 Cartes hydrogéologiques

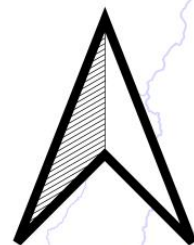
Aquifères du socle armoricain

Aquifères Bajocien-Bathoniens

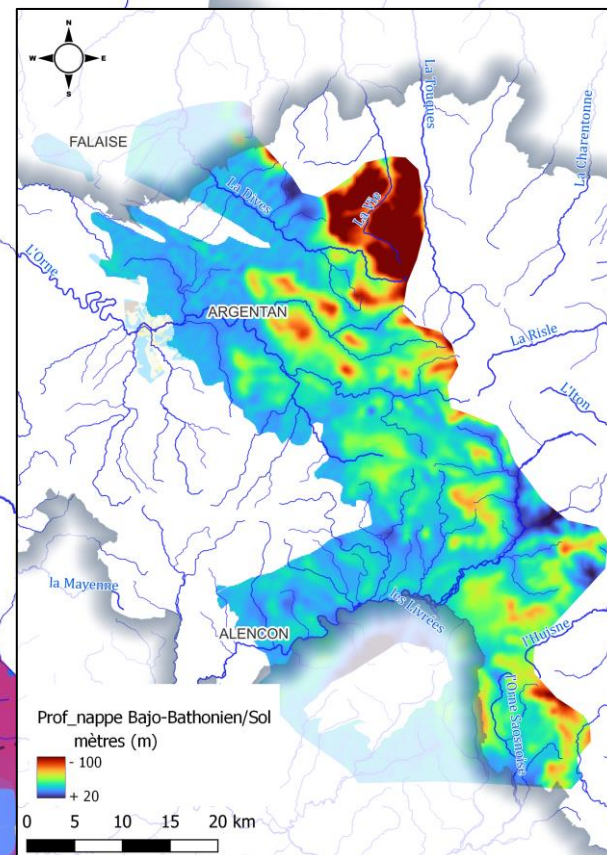
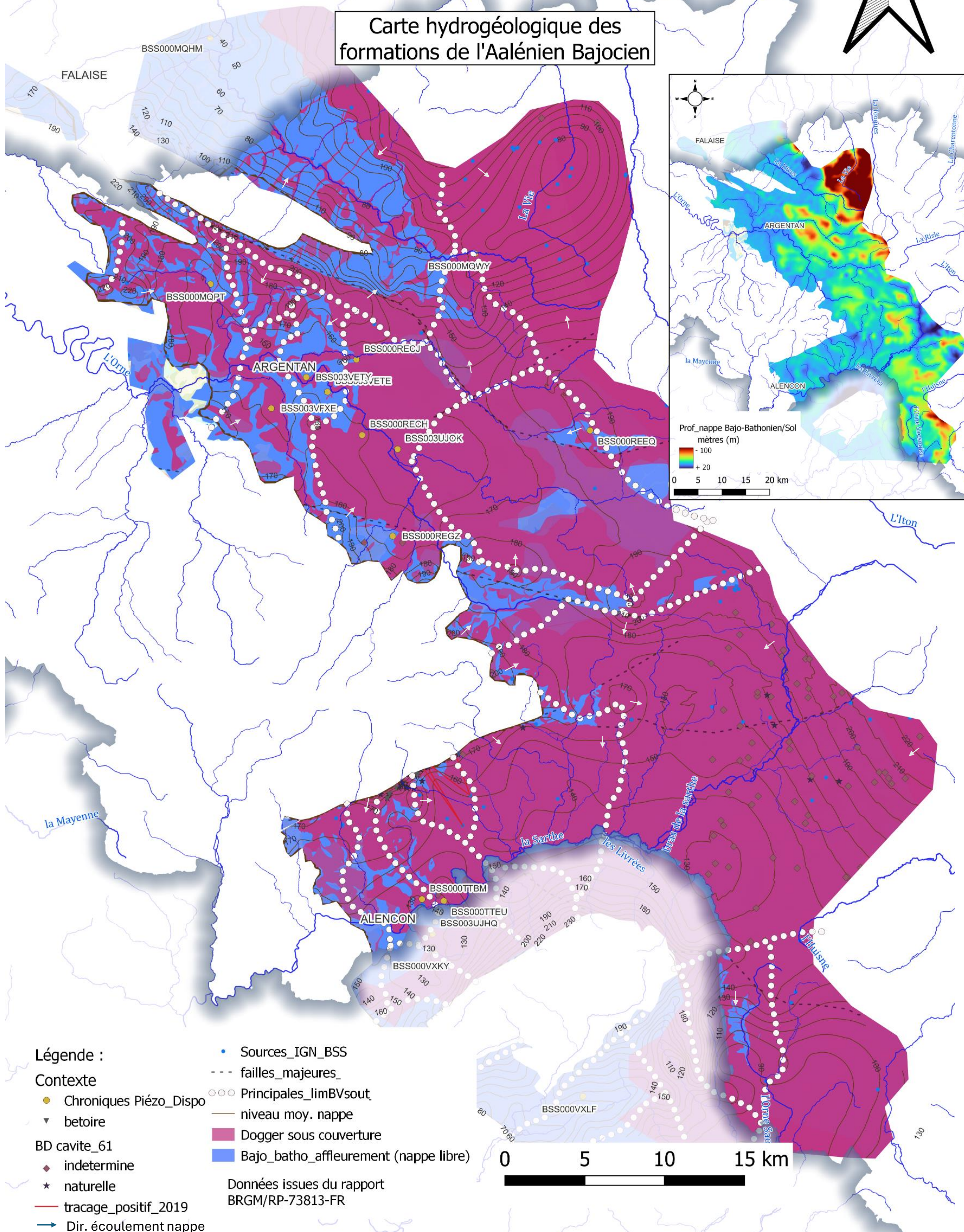
Aquifères Oxfordiens

Aquifères Cénomaniens et Turoniens





Carte hydrogéologique des formations de l'Aalénien Bajocien



Légende :

Contexte

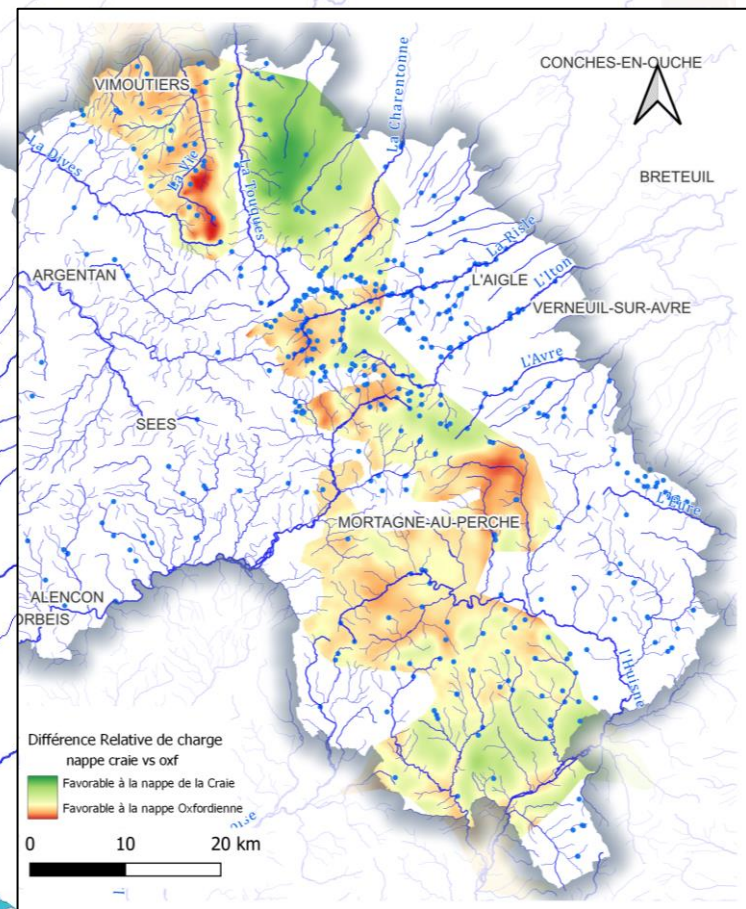
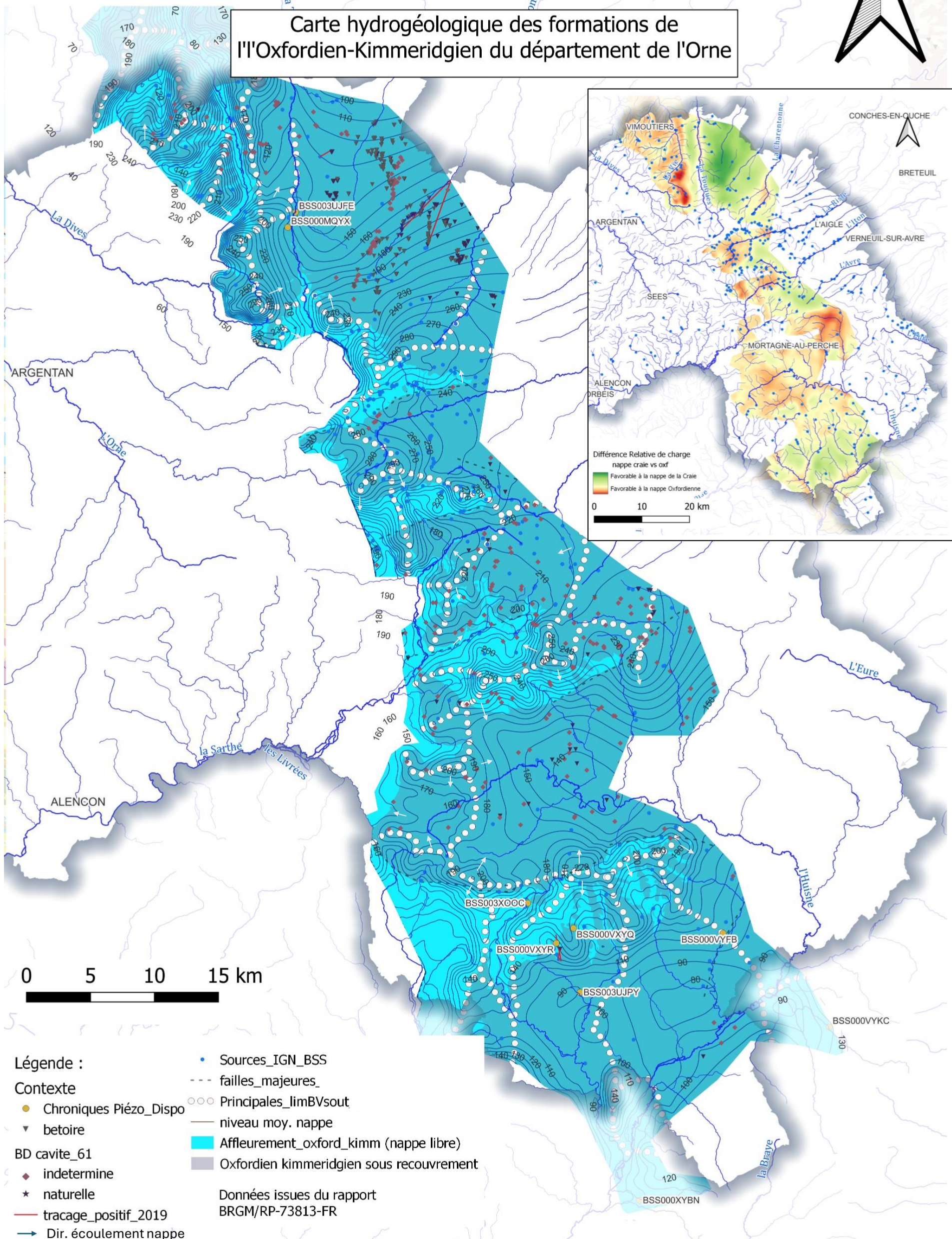
- Chroniques Piézo_Dispo
- ▼ betoire
- BD cavite_61
 - ◆ indetermine
 - ★ naturelle
 - tracage_positif_2019
 - Dir. écoulement nappe

- Sources_IGN_BSS
- failles_majeures_
- Principales_limBV_sout
- niveau moy. nappe
- Dogger sous couverture
- Bajo_batho_affleurement (nappe libre)

Données issues du rapport
BRGM/RP-73813-FR

0 5 10 15 km

Carte hydrogéologique des formations de l'Oxfordien-Kimmeridgien du département de l'Orne



Légende :

Contexte

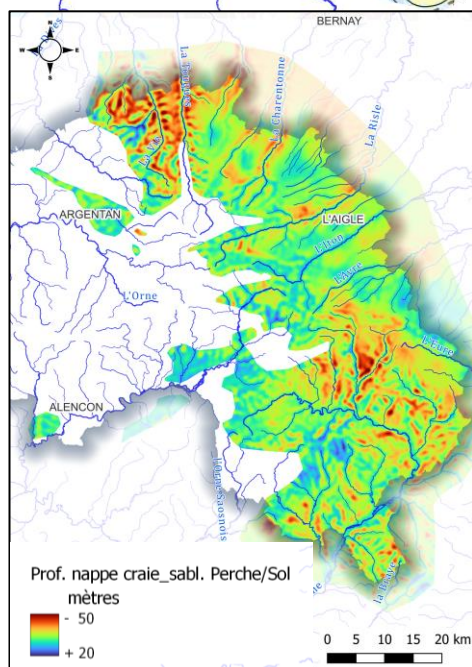
- Chroniques Piézo_Dispo
- ▼ betoire
- BD cavite_61
- ◆ indetermine
- ★ naturelle
- tracage_positif_2019
- Dir. écoulement nappe

- Sources_IGN_BSS
- failles_majeures_
- Principales_limBV_sout
- niveau moy. nappe
- Affleurement_oxford_kimm (nappe libre)
- Oxfordien kimmeridgien sous recouvrement

Données issues du rapport
BRGM/RP-73813-FR



Carte hydrogéologique des formations du Crétacé supérieur du département de l'Orne



Légende :

Contexte

- Chroniques Piézo_Dispo
- ▼ betoire
- BD cavite_61
- ◆ indetermine
- ★ naturelle
- tracage_positif_2019
- Sources_IGN_BSS
- Dir. écoulement nappe
- Données issues du rapport
BRGM/RP-73813-FR

--- failles_majeures

○ ○ ○ Principales_limBV_sout

— niveau moy. nappe

Lithologie simplifiée

- 04 - Limons et colluvions
- 07 - Argiles à silex
- 16 - Calcaires lithographiques
- 17 - Calcaires bioclastiques et récifaux
- 18 - Autres craies
- 19 - Craie indurée
- 20 - Craie glauconieuse et gaize
- 26 - Sables et graviers

0 5 10 15 km



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Normandie

Adresse : 7 Rue Andrei Sakharov, Parc Vatine

76130 Mont-Saint-Aignan

Tél. : 02.32.60.12.00 ; mail : normandie@brgm.fr

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm