

Tour d'horizon sur les relations nappe-rivière dans les régions du bassin Seine-Normandie

Basse-Normandie

Etudes des échanges nappe-rivière par modèles globaux

Les nappes bajociennes et bathoniennes permettent de soutenir le débit des cours qui la drainent. Dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du département du calvados réalisé en 2007, des modélisations globales (logiciel GARDENIA) ont été réalisées sur 3 Bassins versants : la Seule, la Dives et la Mue. Ces bilans hydrologiques apportent des informations sur le fonctionnement hydrologiques des cours d'eau et quantifient les relations nappe-rivières :

Pour la Seules :

Les résultats du modèle indiquent une variation saisonnière importante des écoulements lents participant au débit de la Seules :

- pour la période 1972-2003, le modèle calcule une contribution minimale des écoulements souterrains lents au débit de la Seules de 21 %, une contribution maximale de 100% et une contribution moyenne de 73 % ;
- en période d'étiage (mai à septembre), le débit de la Seules est en grande partie assuré par les écoulements souterrains : de 85 à 93 % en moyenne. L'analyse statistique des données montre que les écarts interannuels sont les plus faibles pour ces périodes : en effet, quelque soient les précipitations (sauf pluies exceptionnelles), la part du ruissellement reste en général faible ;
- en période de recharge hivernale, la contribution des écoulements souterrains au débit de la Seules est logiquement plus faible : de 47 à 60 % en moyenne. Les écarts interannuels sont, en revanche, plus importants : la part du ruissellement est fortement dépendante des précipitations hivernales. La part du ruissellement peut, par exemple, varier entre 5% (février 1992) et 72 % (février 1990).

Pour la Mue :

Pour la période 1971-2005, le modèle calcule une contribution minimale des écoulements souterrains lents de 30 %, une contribution maximale de 94 % et une contribution moyenne de 67 %. Comparativement au bassin versant de la Seules, traité précédemment, on remarque quelques différences notables :

- la variation de la contribution des écoulements lents est moins contrastée pour le bassin versant de la Mue. Ce dernier étant moins sujet au ruissellement (relief de plateau et terrain infiltrant), les précipitations et leurs variations saisonnières auront ainsi moins d'impact sur la contribution des écoulements lents ;
- pour les mêmes raisons, la contribution des eaux souterraines semble plus importante en période de recharge pour le bassin versant de la Mue. En effet, pendant cette période, l'alimentation par les eaux ruisselées sur l'amont du bassin de la Seules est prépondérante (§3.4) ;
- la contribution des écoulements souterrains en période d'étiage est par contre moins importante dans le cas du bassin de la Mue (de l'ordre de 90% pour celui de la Seules). La différence de valeur peut s'expliquer en partie par la présence d'écoulements karstiques sur le bassin versant de la Mue (assimilés à des écoulements rapides par le modèle) mais aussi par l'impact des prélèvements sur le débit des écoulements souterrains.

SIGES Seine-Normandie

Pour la Dives :

Pour la période 1993-2005, le modèle calcule une contribution minimale des écoulements souterrains lents de 19 %, une contribution maximale de 100 % et une contribution moyenne de 66 %.

Comparativement aux deux autres bassins versants traités précédemment, les variations mensuelles de la contribution des écoulements lents se rapprochent de celles calculées pour le bassin de la Seulles : une forte variabilité entre les basses eaux et les hautes eaux et une contribution maximale centrée sur la période estivale. Ces deux bassins versants, contrairement à celui de la Mue, présentent un fonctionnement contrasté entre l'amont et l'aval. Leur partie amont, avec des reliefs plus marqués et des terrains moins infiltrants, joue, en effet, un rôle prépondérant dans l'écoulement du cours d'eau en automne et hiver et beaucoup plus limité en été.

Evaluation de la ressource en eau souterraine exploitable permettant de respecter un débit d'étiage acceptable (modèle maillé et modèle globale) dans la plaine de Caen-Argentan et le bassin de la Dives

La DREAL de Basse-Normandie et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) ont sollicité le BRGM pour la réalisation d'un modèle hydrogéologique maillé sous Marthe portant sur les aquifères de la plaine de Caen-Argentan et le bassin de la Dives. Cette étude a permis d'évaluer la ressource en eau souterraine exploitable tout en respectant un rabattement piézométrique acceptable, ainsi qu'un débit d'étiage acceptable (Wuilleumier A. et al. 2014).

L'évaluation des volumes prélevables repose sur une approche portant sur deux échelles distinctes :

- Approche sectorielle, pour chacune des 67 unités hydrologiques, consistant à évaluer celles pour lesquelles l'impact des prélèvements se traduit par une baisse de plus de 30% du QMNA5 du cours d'eau simulé en régime naturel (évalué en l'absence de tous pompages). Dix zones hydrologiques sensibles ont ainsi été identifiées, et un volume prélevable maximal a été déterminé pour chacune d'elles. Ce volume maximal prélevable correspond au volume de prélèvements annuels permettant de ne pas dépasser un impact de 30% sur le QMNA5 (l'année 2010 constituant la configuration spatiale et temporelle de référence pour ces prélèvements). Le calcul de ces volumes conduit à proposer une baisse de 3.5 Mm³ des prélèvements annuels par rapport aux prélèvements effectués en 2010 pour l'ensemble de ces dix zones ; une forte disparité est cependant observée d'une unité à une autre ;
- Approche globale, menée à l'exutoire des 11 bassins versants composant le domaine d'étude (Touques exclue). Cette approche conduit à estimer, pour tout le domaine d'étude, une ressource en eau exploitable huit années sur dix de l'ordre de 14.7 Mm³ sur deux mois consécutifs durant la période d'étiage (22.1 Mm³ sur trois mois consécutifs). À titre de comparaison, le volume prélevé en 2010 a été de 14.3 Mm³ durant deux mois consécutifs à l'étiage, et de 19 Mm³ pour trois mois consécutifs.

Relation entre les eaux souterraines, les rivières et les écosystèmes terrestres par mesures in-situ (Marais de Carentan- Cotentin)

Le bassin de Sainteny-Marchésieux représente une réserve aquifère particulièrement intéressante à l'échelle du département de la Manche puisqu'il alimente en eau potable un quart de la population du département. Le sous-bassin de Sainteny au nord-ouest est exploité à raison de 4 millions de m³/an, tandis que le sous-bassin de Marchésieux, plus vaste est actuellement très peu exploité.

Des travaux de recherche réalisés par l'université de Rennes (Thèse F. Auterives, 2006) essentiellement dans le sous-bassin de Sainteny ont étudié les relations entre la nappe contenue dans les tourbes, la nappe des faluns sous-jacents et les cours d'eau. Cette thèse a mis en évidence la fragilité des zones de marais et tourbières et la nécessité de veiller à mieux appréhender les impacts entre les prélèvements d'eau souterraine et les zones humides.

Des affaissements et des modifications de sols ont été identifiés dans les zones humides situées au-dessus de l'aquifère sédimentaire exploité du sous-bassin de Sainteny. La part de ces modifications liée à l'exploitation des eaux souterraines n'est pas connue précisément (Ollivier P., David P.-Y. 2010).

Concernant le sous-bassin de Marchésieux non encore exploité, le fonctionnement hydrogéologique est complexe, il est probable que plusieurs aquifères soient présents. La (ou les) nappe(s) des tourbes sont en relations hydrauliques étroites avec les aquifères sous-jacent et les cours d'eau (et la gestion des niveaux associés), ceux-ci drainant les tourbes la majeure partie de l'année. Ainsi l'AESN, le département de la Manche et le BRGM ont initié en 2012 un projet visant à améliorer la connaissance hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux, et en particulier, le potentiel de la ressource en eau souterraine et les relations avec les zones humides, celles-ci représentant environ 30% de la superficie du sous-bassin de Marchésieux (Laurent A. et al. 2014).

Haute-Normandie

En Haute-Normandie, les rivières sont alimentées en moyenne à 90% (de 60% à 100% selon le cours d'eau et la saison) par les écoulements souterrains. Dans le cas général, les rivières drainent la nappe de la craie. Ce qui explique la régularité de leur débit, de leur température, et leur limpidité (hors phénomène karstique). On assiste au colmatage progressif de leur lit par les apports de terre érodée par les ruissellements de surface et par les sources exutoires de réseaux de fissures.

Cependant dans certains cas, les rivières ne sont localement pas connectées à la nappe. C'est le cas dans les vallées du Commerce entre Bolbec et Gruchet-la-Valasse, de l'Iton entre Condé et la bonneville puis entre Evreux et Tourneville, de la Risle entre Rugles et Beaumont-le-Roger et de l'Avre en amont de Verneuil-sur-Avre. Des réseaux karstiques liés probablement à une différence d'altitude entre l'amont et le niveau de base ont induit l'enfouissement de la nappe dans l'aquifère et son décrochement du niveau des rivières sur des profondeurs de 10 à 15m. Dans ces secteurs, de nombreuses pertes (bétoires) sont recensées dans le lit des cours d'eau. Ces pertes peuvent parfois provoquer des pertes totales des cours d'eau. Ces pertes totales sont tantôt pérennes (perte du Bebec, perte du Lemme, perte du guiel), tantôt saisonnières : perte de l'Iton au sec-Iton, perte de la Risle, perte de l'Avre.

Etudes des échanges nappe-rivières par modèles globaux

Dans le cadre de l'atlas hydrogéologique du département de l'Eure réalisé en 2004, des modélisations globales (logiciel GARDENIA) ont été réalisées sur 3 Bassins versants : la Risle, l'Iton et L'Epte. Ces bilans hydrologiques apportent des informations sur le fonctionnement hydrologiques des cours d'eau et quantifient les relations nappe-rivières :

L'Iton :

Sur la période simulée de 1968 à 2002, on observe que :

- l'alimentation de la rivière par la nappe est globalement forte : le débit de base que constitue le débit drainé lent est particulièrement bien marqué, avec 85 % de contribution au débit de la rivière.

Ponctuellement on atteint de 81 à 100 % d'écoulement lent.

- les débits sont a priori plus forts entre janvier et mars avec un fort débit de ruissellement, les eaux souterraines participent le plus fortement en débit drainé en début d'été (mai/juin)

SIGES Seine-Normandie

L'Epte :

Sur la période simulée de 1973 à 2002, on observe un débit souterrain important avec 68 à 85 % de part de débit drainé dans le débit total. Cette variabilité pourrait être encore plus importante car l'épaisseur de la couverture de limons varie fortement et influence fortement le taux de recharge de la nappe, qui est directement lié au débit souterrain.

La Risle Aval :

Sur la période simulée de 1973 à 2002, on obtient un taux d'écoulement lent de 60 % pour le modèle global pluie-débit et de 77.7 % pour le modèle pluie-niveau. Cette valeur relativement basse peut être expliquée à titre d'hypothèse par la présence de grandes surfaces peu infiltrantes au sud du bassin.

Etudes des échanges nappe-rivière par couplage Etude isotopique et Modèles globaux (Bassin de l'Austreberthe)

Dans le but d'approfondir la connaissance relative aux relations nappe-rivière en Haute-Normandie, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) et le BRGM se sont associés dans le cadre d'un projet de recherche. La méthodologie proposée par le brgm s'est décomposée en deux approches complémentaires :

- Approche n°1 : par modélisation hydrologique globale du bassin versant (Arnaud, 2007);
- Approche n°2 : par traçages géochimique et isotopique afin d'évaluer la nature des relations entre les nappes, les sources et la rivière (Petelet et al. , 2007).

Cette méthodologie a été testée sur le bassin versant de l'Austreberthe (Seine-Maritime).

Résultats de l'approche n°1 : des modélisations satisfaisantes (pluie-débit et pluie-niveau) ont pu être obtenues :

- La contribution moyenne des écoulements souterrains lents au débit de l'Austreberthe est de l'ordre de 90 %. Cette contribution moyenne est en accord avec les travaux menés par l'Université de Rouen. En période d'étiage (juillet à octobre), le cours d'eau est quasi-exclusivement alimenté par les eaux souterraines. En période hivernale (décembre à mars), même si la contribution du ruissellement augmente, l'alimentation de l'Austreberthe par les eaux souterraines reste prépondérante (en moyenne entre 86 et 89 %). Des écoulements rapides significatifs ne sont observés sur le bassin versant que lors des hivers exceptionnellement pluvieux où leur contribution peut alors atteindre entre 20 et 30 %.

Résultats de l'approche n°2 : Les principaux résultats de l'approche par traçage géochimique et isotopique sont les suivants :

Pour les deux campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre de l'approche géochimique (novembre 2006 et mai 2007), le modèle semble indiquer une contribution des écoulements lents à l'alimentation de l'Austreberthe sensiblement identique : respectivement 98 et 96 %.

En comparaison avec l'approche par modélisation hydrologique réalisée à l'exutoire du bassin, l'approche géochimique montre que les eaux de l'Austreberthe en aval (Riv-3) présentent une signature intégratrice de l'ensemble des eaux et des éléments associés à l'échelle du bassin :

- les traceurs des interactions eaux-roche (isotopes du Sr) montrent que la rivière en aval correspond à un mélange de toutes les eaux souterraines prélevées sur le bassin, traduisant les différentes lithologies drainées.
- Les traceurs des impacts anthropiques (nitrate, chlorure et bore) tracent une déconvolution spatiale

des différentes pressions : des apports agricoles en amont du bassin (nitrate essentiellement et chlorure) et des rejets urbains dans la partie aval (chlorure et bore).

- L'approche géochimique permet d'aller plus loin en termes de connaissance de l'alimentation en eau et en éléments dissous de la rivière sur le bassin avec 3 prélèvements d'eau de surface d'amont en aval du bassin. Il a été montré que l'évolution de la composition géochimique de ces eaux suit rigoureusement celle des eaux souterraines qui contribuent à l'écoulement de surface. Le pouvoir intégrateur de la rivière, bien qu'attendu, est clairement mis en évidence en reflétant par tronçon la diversité des apports dissous correspondants à la fois aux apports lithologiques (interaction eau-roche) et aux apports anthropiques (agricole et urbain). Ainsi, compte tenu des conditions hydrologiques lors des deux campagnes, absence de ruissellement de surface significatif, les eaux de surface refléteraient une alimentation quasi exclusive par les eaux souterraines tout au long de la rivière, comme l'indiquent les compositions chimiques de la rivière.

Par ailleurs, pour les deux campagnes, l'approche géochimique montre clairement le découplage de signature entre les eaux de surface et les eaux souterraines au niveau de Duclair. En effet, la rivière intègre par mélange tous les apports du bassin, ce qui n'est pas le cas des eaux souterraines à Duclair. Ce découplage de signature indique qu'il n'y a pas de réalimentation du forage de Duclair (FC-3) par les eaux de la rivière via les alluvions. On note aussi une nette différence entre la source de Duclair (So-3) et le forage (FC-3) ce qui montre que les réservoirs souterrains sollicités ne sont pas identiques.

Evaluation de la ressource en eau souterraine exploitable permettant de respecter un débit d'étiage acceptable (modèle maillé) dans le bassin de l'Avre (régions Normandie et Centre)

La DREAL, l'AESN, Eau de Paris et le BRGM se sont associés pour la réalisation d'un modèle hydrogéologique maillé sous Marthe du bassin versant de l'Avre. Cette étude en cours doit permettre d'évaluer la ressource en eau souterraine exploitable tout en respectant un débit d'étiage acceptable (David, 2012).

Ile-de-France

Délimitation de la nappe d'accompagnement sur le bassin de la Juine et de l'Essonne

Le paragraphe qui suit ne constitue pas une synthèse des relations nappe-rivière dans la région Ile-de-France mais présente une étude à caractère méthodologique réalisée par le BRGM sur le bassin de la Juine et de l'Essonne. Cette étude avait pour objectif de quantifier les relations nappe-rivières, de fournir aux services de police de l'eau, un outil d'aide à la décision et d'évaluer l'impact des prélèvements (Vernoux J.F. et al. 2001).

Le bassin de la Juine et de l'Essonne se situe au nord du système aquifère de la Beauce et comporte 2 réservoirs multicouches : le réservoir oligocène et le réservoir éocène. Dans le réservoir oligocène, la nappe principale est contenue alternativement dans le calcaire de Beauce, les Sables de Fontainebleau ou le Calcaire de Brie.

La délimitation de la nappe d'accompagnement est basée sur la quantification de l'impact d'un prélèvement d'eau souterraine sur le débit de la rivière en appliquant la formule de Theis. Les limites de la nappe d'accompagnement ont été définies pour trois seuils d'impact (10, 25 et 50%) et une durée de pompage fixée (90 jours).

Les bilans réalisés à partir des données de débits de l'Essonne et de la Juine montrent que les prélèvements en nappe restent faibles vis-à-vis de la ressource en eau et des débits des rivières (moins de 10% sur l'année en moyenne et moins de 20% sur la période d'étiage en année sèche).

SIGES Seine-Normandie

L'étude conclut que sur la base d'une bonne connaissance hydrogéologique des aquifères en relation avec la rivière, cette méthode peut être appliquée à d'autres bassins à condition d'avoir présent à l'esprit les problèmes de mise en œuvre qui sont de deux types : d'une part la connaissance des paramètres hydrodynamiques qui s'avère souvent insuffisante, d'autre part le fait que 2 paramètres qui entrent dans le calcul (le seuil d'impact et le temps de pompage) n'ont pas de valeur imposée. Dans ces conditions, une cartographie de la limite de la nappe d'accompagnement n'a qu'une valeur toute relative.

Picardie

En Picardie, la Bresle et la Serre, sont essentiellement alimentés par l'aquifère crayeux contrairement à l'Oise (et ses affluents : Thérain, Brèche, Aronde, Automne, Nonette,...), à l'Aisne, la Marne (et ses affluents : Ourcq, Clignon,...) qui drainent les aquifères crayeux (partie amont), tertiaires (partie avale) et même des roches jurassiques (Avelon) et primaires (Oise amont) (schistes du socle ardennais) peu perméables.

Dans les départements de l'Oise et de l'Aisne, la majorité des rivières drainent les nappes phréatiques. En période sèche, leur débit est donc significatif de l'état de la réserve dans le sous-sol. Des études spécifiques sur les relations entre nappes et cours d'eau ont été réalisées sur la rivière de l'Oise (Schomburgk S. (2003) rapport BRGM/RP-52229-FR ; Tirat T (1972) rapport BRGM/72-SGN-094-PNO ; Roux J.C. et De La Quèrière Ph. (1964) rapport BRGM/64-DSGR-A-024). Concernant les autres cours d'eau, des informations ont été retrouvées ponctuellement dans des études hydrogéologiques.

a) Cours d'eau du plateau crayeux

Drainé par un double réseau hydrographique (la Somme vers la Mer en Artois-Picardie et l'Oise vers la Seine), l'aquifère de la craie leur restitue des réserves régulatrices et leur assure des étiages soutenus. La caractéristique principale du fonctionnement hydrologique des cours d'eau entaillant les plateaux crayeux est le rôle prépondérant joué par la nappe.

En période d'étiages comme en période de hautes eaux, la nappe phréatique est drainée par les affluents de rive droite de l'Oise (Verse, Divette, Matz, Aronde, Brèche, Thérain et Esches) dans l'Oise et par l'Oise amont et son affluent la Serre dans l'Aisne, et les alimente en permanence. L'alimentation en basses eaux des rivières par drainage de la nappe est d'autant plus significative que le niveau de la rivière est bas par rapport à celui des nappes. On observe habituellement les maxima de débit en mars et avril. La période de vidange, à l'issue de laquelle on observe les minima de débit de la nappe, se situe de mai à octobre. Cependant, ce fonctionnement saisonnier est lui-même modulé par un fonctionnement pluriannuel.

b) Cours d'eau des plateaux tertiaires (Automne, Nonette, Ourcq...)

Dans les régions tertiaires, le réseau hydrographique a sculpté des vallées encaissées aux versants relativement abrupts. Les cours d'eau constituent des exutoires pour les nappes tertiaires qu'ils traversent et qu'ils drainent. Ainsi, l'Automne, la Nonette et la Thève, affluents de rive gauche de l'Oise, sont alimentés par les nappes du Bartonien dans leur partie amont puis par celles du Lutétien et du Cuisien (Yprésien supérieur). Dans le bassin de la Marne, l'Ourcq et ses deux petits affluents de rive droite, la Grivette et la Gorgogne, sont alimentés par les nappes du Bartonien et du Lutétien.

Les sources de déversement des nappes de versants forment de petits cours d'eau qui, lorsqu'ils ne se réinfiltrant pas en aval dans des terrains perméables, contribuent aux débits des rivières. Sur les terrains argileux et marneux, peu perméables, les ruissellements sont prédominants et rejoignent les cours d'eau.

c) Cours d'eaux du Pays de Bray

Le Pays de Bray, caractérisé par des terrains du Crétacé inférieur et du Jurassique, est traversé du nord-ouest au sud-est par l'Avelon qui se jette ensuite dans le Thérain au niveau de Beauvais.

Les affluents de l'Avelon ou du Thérain sont alimentés au Nord par les sables et calcaires du Tithonien inférieur (Portlandien) au sud par les formations crayeuses du Turonien et du Cénomaniens (Crétacé supérieur) mais aussi des sables verts de l'Albien (Crétacé inférieur).

L'Avelon et ses petits affluents s'écoulent principalement sur des terrains marneux et argileux imperméables du Tithonien moyen et supérieur (Portlandien – Jurassique supérieur) puis du Wealdien (Néocomien (Valangien et Hauterivien) – Crétacé inférieur). Leurs débits sont irréguliers car tributaires de la pluviométrie (peut soutenus par les nappes). Ainsi, les débits mensuels moyens de l'Avelon sont multipliés par 4 entre septembre (0,45 m³/s) et février (1,76 m³/s).

d) Cas de l'Oise, de l'Aisne et de la Troësne

Oise

L'Oise traverse des zones de recouvrement tertiaire entre Noyon et Compiègne (Monts du Noyonnais et du Soissonnais) puis entre Rivecourt et Précy-sur-Oise (Valois et Clermontois) et des zones d'affleurement de la craie entre Compiègne et Rivecourt (bombement de l'anticlinal de Margny-Les-Compiègne) puis entre Précy-sur-Oise et Persan-Beaumont (bombement de l'anticlinal du Pays de Bray). Globalement, l'Oise et ses affluents constituent le drain majeur des nappes alluviales et des aquifères environnants. L'écoulement général est donc perpendiculaire à la vallée principale sauf au droit des vallées secondaires, où il s'infléchit vers les axes de ces affluents.

Dans certaines zones, les nappes peuvent se trouver nettement déprimées par les pompages et le sens de relation s'en trouve ainsi inversé. La baisse des niveaux de la nappe du Thanétien doit se traduire par une réalimentation à partir de l'Oise. Ce processus a notamment été observé dans le département de l'Aisne, à proximité de la frontière avec l'Oise.

Nappe alluviale de l'Oise

Le comportement de la nappe alluviale par rapport aux autres nappes et sa relation avec l'Oise sont mal connus. Les alluvions sont très hétérogènes en épaisseur et en composition lithologique, or ce sont principalement ces deux caractéristiques qui définissent les échanges entre la nappe et la rivière.

La nappe alluviale, en générale peu épaisse, inférieure à 10 m, est normalement en position de drainage par la rivière. En périodes de crue de la rivière, les écoulements s'inversent et la nappe alluviale reçoit alors une quantité parfois importante d'eau superficielle.

L'aquifère alluvial peut se retrouver sur un horizon très perméable (craie, sables de Cuise), semi-perméable (marnes et sables du Thanétien) ou imperméable (argiles sparnaciennes). Les nappes encaissant la vallée de l'Oise ont des extensions plus ou moins importantes. Elles ne sont libres que hors recouvrement imperméable ou semi-perméable. Elles peuvent être très productives et se laisser drainer gravitairement vers les nappes alluviales qui constituent alors un exutoire. En zone de recouvrement des argiles imperméables du Sarnacien (Yprésien inférieur) ou sous alluvions imperméables, l'écoulement devient captif et la nappe circulant sous les alluvions n'alimente guère ces dernières par drainance. Les alluvions sont alors principalement alimentées par la rivière.

Les sections canalisées et les canaux artificiels jouent aussi un rôle non négligeable dans les échanges avec les différentes nappes.

Enfin, les alluvions sont également alimentées par déversement latéral des nappes de versant du Tertiaire, comme celle contenue dans les sables de Cuise (Yprésien supérieur).

SIGES Seine-Normandie

Amont de La Fère

En amont de la Fère, l'Oise traverse les plateaux crayeux. La nappe de la craie est drainée par le cours d'eau et régule son débit.

La Fère à Compiègne

Entre La Fère et Compiègne, la vallée de l'Oise traverse en alternance les formations argileuses sparnaciennes et les sables de Cuise (Yprésien). Le substratum de la vallée est constitué des sables fins et marnes du Thanétien jusqu'au confluent Oise-Aisne.

La nappe des sables de Bracheux (Thanétien) et celle sous-jacente à la craie sont considérées comme en continuité hydraulique. Les communications sont directes entre cette nappe et la rivière à travers les alluvions. L'ensemble de la craie, des sables de Bracheux et des alluvions se comporte alors comme un aquifère continu. En période normale et en étiage, la rivière draine donc la nappe de la craie à travers la nappe alluviale. Lors d'une remontée de nappe, le volume d'eau souterraine qui alimente la rivière par sous-écoulement à travers les alluvions et par des sources est plus important. Le niveau de la nappe de la craie décroît lentement et alimente en continu la rivière.

Lorsque les formations du Sparnacien (Yprésien inférieur) sont présentes sous les alluvions, la nappe des sables de Bracheux et de la craie est captive. Celle-ci s'écoule alors dans ces secteurs en régime captif de 1 à 10 m au-dessus de l'interface. Lorsque la rivière traverse des tronçons principalement peu perméables, le volume d'eau en provenance de la nappe sous-jacente est limité et l'alimentation est faible. Cette configuration existe localement notamment en rive droite et au droit de Ribecourt et de Chiry-Ourscamps.

Compiègne à Rivecourt

Entre Compiègne et Rivecourt, la craie sénonienne est présente directement sous les alluvions sans intercalation de niveau imperméable. Les nappes de la craie et des alluvions communiquent alors librement. Il existe une forte alimentation de la rivière par sous-écoulement à travers les alluvions de la nappe de la craie ou éventuellement par des sources. Le volume des eaux libérées par la nappe souterraine de la craie est très supérieur au volume des eaux alluvionnaires. En situation de hautes eaux, l'alimentation est augmentée par transmission de la charge hydraulique, par un écoulement "accélééré" et des sources plus abondantes.

Dans la région de Compiègne, la nappe supérieure du Cuisien (Yprésien supérieur) et la nappe de la craie ne sont pas en communication. Les niveaux de la nappe du Tertiaire sont plus hauts de plusieurs dizaines de mètres que ceux de la craie sous-jacente.

Rivecourt à Precy-sur-Oise

De Rivecourt à Precy-sur-Oise, l'Oise traverse des zones de recouvrement tertiaire et son rôle vis-à-vis des nappes est identique à celui qu'elle a en amont de Compiègne. Les alluvions reposent sur les sables fins et marnes du Thanétien semi-perméables à Rivecourt, ensuite, sur les argiles plastiques sparnaciennes (Yprésien inférieur) jusqu'à Villers-Saint-Paul, les sables de Cuise (Yprésien supérieur) perméables jusqu'à Villers-sous-Saint-Leu et enfin sur les argiles sparnaciennes et sables de Bracheux (Thanétien) jusqu'à la faille passant à Precy-sur-Oise.

L'aquifère des sables de Cuise joue un rôle intermédiaire par rapport aux formations crayeuses et alluviales. Les nappes peuvent être plus ou moins connectées avec l'Oise mais le volume d'eau qui transite par sous-écoulement est considérablement plus faible.

Aval de Precy-sur-Oise

A partir de Precy-sur-Oise et jusqu'à son entrée dans le département du Val d'Oise, l'Oise traverse à nouveau des zones d'affleurement de la craie. La nappe de la craie est directement drainée par le réseau hydrographique.

SIGES Seine-Normandie

Aisne

L'Aisne, affluent principal de la rive gauche de l'Oise, est comme l'Oise, une rivière exogène par rapport aux aquifères qu'elle traverse. En Picardie, l'Aisne s'écoule, d'abord sur la craie puis sur les sables de Cuise qu'elle draine sur sa partie amont et sur les argiles sparnaciennes (Yprésien) en aval. La majorité de ses affluents prennent leur source dans les calcaires du Lutétien ou dans les sables du Bartonien.

Troësne

Les versants de la vallée de la Troësne, affluent de l'Epte, laissent affleurer principalement des formations du Tertiaire en rive gauche et la craie en rive droite. Le lit de la Troësne s'établit dans les sables de Bracheux (Thanétien) et la craie. La nappe est continue au sein de ces terrains perméables et alimente la rivière. Les affluents les plus importants de la Troësne prennent leur source sur le plateau de Thelle et drainent la nappe de la craie.

Champagne-Ardenne

Plusieurs études des relations nappes rivières par modèle global ont été menées dans cette région pour évaluer les relations nappe-rivières et mettre en place des outils de gestion. Deux d'entre elles sont mentionnées succinctement ci-dessous :

- Etant donné le rôle important des eaux souterraines sur les débits de la Marne en étiage et afin d'assurer sa mission de soutien d'étiage, l'IIBRBS (Institution interdépartementale des barrages-réservoirs du bassin de la Seine devenu EPTB Seine Grands Lacs) (établissement public territorial de bassin) a demandé au BRGM d'élaborer pour le bassin de la Marne un outils d'aide à la gestion en étiage du lac-réservoir Marne (Normand M. et al. 2005). Quatre approches ont été développées pour élaborer des outils d'aide à la gestion : 1) une analyse fréquentielle des débits mensuels naturels reconstitués de la Marne ; 2) un modèle global pluie-débit naturel reconstitué avec le modèle global pluie-débit GARDENIA du BRGM ; 3) un modèle global pluie-débit naturel de la Blaise avec le modèle global pluie-débit du type GARDENIA ; 4) une approche relative à la prévision des débits de l'ensemble du bassin de la Marne par un modèle hydrologique global spatialisé du type EROS du BRGM. Ce type de modèle prend en compte les échanges entre les bassins et permet aussi de simuler l'impact sur les débits en aval de différents scénarios de lâchers du lac-réservoir et/ou des autres débits d'échanges.
- Suite aux problèmes d'assec connus par de nombreux cours d'eau, notamment en 2003, 2004 et 2005, la MISE (Mission Interservice de l'Eau) de la Marne et de la DIREN Champagne-Ardenne ont demandé au BRGM d'élaborer des règles de gestion de la ressource en eau souterraine pour les bassins de la Somme-Soude et de la Coole (département de la Marne). Un modèle global GARDENIA a été réalisé sur le bassin versant de Soude (SCHMIDT C. et al. 2006). Des simulations spécifiques ont permis d'établir l'impact de l'augmentation des prélèvements sur la ressource en eau (nappe et débit de la rivière) ainsi que les prévisions statistiques des débits et des niveaux de nappe sur les 8 prochains mois. La règle de gestion proposée aux termes de la phase de modélisation repose sur la relation existant entre le niveau piézométrique enregistré aux Grandes-loges le 15 avril de chaque année (index représentatif de l'état de remplissage de l'aquifère en conditions non influencées) et le nombre de jour où le débit de la Soude à Soudron est inférieur au QMNA5 (index représentatif du débit d'étiage constaté dans la rivière). Il s'agit d'un d'outil d'aide à la gestion volumique des ressources en eau sur le bassin de la Soude, point de départ pour une réflexion concertée entre les

administrations chargées de la Police de l'eau et les usagers de l'eau.

Bourgogne (partie Seine-Normandie)

Il n'existe pas d'étude récente ou d'études spécifiques sur les relations nappe-rivière en région Bourgogne. Seules quelques études abordent ce sujet dans certains de leurs chapitres.

En Bourgogne, dans de nombreux secteurs, du fait de la présence de karst dans les aquifères du jurassique notamment, la rivière ne draine pas la nappe mais au contraire l'alimente. On peut citer (liste non exhaustive) :

- La rivière du Serein (à Tormancy) qui perd une partie de son débit au profit de dans l'aquifère du Bathonien et réurge au niveau des sources de Vermenton ;
- La rivière de la Cure qui perd une partie de son débit au profit de l'aquifère de l'oxfordien (argovien) et réurge au niveau des sources d'Arcy-sur-Cure (source du Moulinot et Source de Barbe-bleue) (Mégny, 1964)
- Le ru des tanneries à Nangis comportant des pertes (bétoires) vers les aquifères du Néocomien et du Portlandien dont les résurgences ont été tracées aux niveaux des sources de la Goulotte et de Sainte-Nitasse (situées 3 km à l'aval de la bétoire) (Mégny, 1964)
- Des pertes en cours d'eau ont également été mis en évidence par traçage pour le ru de Vallan (perte vers l'aquifère du Portlandien), le Ru de Courson (perte vers le Séquanien, Rauracien non récifal), le ruisseau de Brosse (pertes vers l'aquifère du Rauracien récifal),... (Mégny, 1964).
- Le rapport d'Ingargiola et al. (1989) mentionne également des pertes des cours d'eau de la Laigne et de la Seine à l'amont de Châtillon-sur-Seine.

Comme dans les autres régions du bassin Seine-Normandie, en Bourgogne, les ressources en eaux souterraines ont généralement été estimées à partir notamment des régimes des cours d'eau. On peut citer les études suivantes (liste non exhaustive) :

- Aquifères du Châtillonnais, Ingargiola et al. 1989 ;
- Aquifères du Vézélien et des plateaux de Bourgogne Ouest et Sud-Ouest (Yonne), Cornet J. et Jauffret D. 1998 ;
- Aquifères calcaires des bassins du Serein et de l'Armançon dans le département de l'Yonne, J. Cornet, 1987 ;
- Aquifères des calcaires jurassiques du Nivernais (département de la Nièvre) », D. Jauffret, 1997

Bibliographie

Aquifère de France

Arnaud L. – Etude des relations nappe-rivière en Haute-Normandie – Modélisations GARDENIA. Rapport BRGM/RP-55813-FR.

Auterives C. (2006) - Influence des flux d'eau souterraine entre une zone humide superficielle et un aquifère profond sur le fonctionnement hydrochimique des tourbières : exemple des Marais du Cotentin, Basse-Normandie, Thèse de l'Université Rennes 1. Géosciences Rennes UMR6118.

Bault V., Borde J., Follet R., Laurent A., Tourlière B. avec la collaboration de Leveau E. et Willefert V. (2012) – Atlas hydrogéologique numérique de l'Oise. Phase 3 : Notice. Rapport final. BRGM/RP-61081-FR, 320 p.,

SIGES Seine-Normandie

81 ill., 55 tab., 2 ann., 1 cd-rom, 1 carte A0.

Bernon N., Chrétien P., Minard D., Tourlière B. (2008) – Atlas hydrogéologique numérique de l’Aisne – Phase 1 : recueil des données et proposition du contenu de l’atlas. BRGM/RP-56336-FR, 50 p., 13 ill., 5 tab., 2 ann.

A. Carn-Dheilly (2010) - Définition d’indicateurs piézométriques pour la prévision d’étéage dans les rivières de Haute-Normandie. Rapport final BRGM/RP-59136-FR, 35 p., 25 ill., 8 ann.

Castany, G.(1965) - Unicité des eaux de surface et des eaux souterraines, principe fondamental de la mise en valeur des ressources hydrologiques, Hydrological Sciences Journal, 10: 3, pp. 22-30

Daum J.R., Durand F. (1997) – Méthodes d’évaluation de l’impact des prélèvements réalisés dans les nappes d’accompagnement sur les eaux superficielles associées, rapport BRGM/RR-38586-FR

Flipo, Nicolas (2005) Modélisation intégrée des transferts d’azote dans les aquifères et les rivières: Application au bassin du Grand Morin. Doctorat Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives, CIG- Centre d’informatique géologique, ENSMP p.244.

LAURENT A., N’GOM M., DUGUE O. (2014) – Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux – Phase 1 Exploitation des données existantes. Rapport final. BRGM/RP-62855-FR.

LAURENT A., B. Vittecoq T. Klinka, (2014) – Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux. Phase 3 – Pompages d’essais sur les forages du Château, de la Grosnière et de la Corbinerie. Rapport final. BRGM/RP-63136-FR, 63p.

Ollivier P., David P.-Y. (2010) – Avis sur les affaissements et les modifications de sol constatés à Saint-Germain-sur-Sèves (50). Rapport BRGM/RP-58970-FR. 24 p., 6 ill.

Petelet-Giraud E., Brenot A., Arnaud L. et al. (2007a) - Etude des relations nappe-rivière en Haute-Normandie, bassin de l’Austreberthe. Approche couplée par modélisation hydrologique et géochimie isotopique, BRGM/RP-55983-FR.

Schomburgk S. avec la collaboration de Pointet T. (2003) – Pré-études des inter-relations nappes – cours d’eau de l’Oise entre Compiègne et Pontoise. Rapport BRGM/RP-52229-FR, 22 p., 10 fig.

Tirat M. avec la collaboration de Belpaume D., Legrand M., Richard M. (1972) – Evaluation des ressources hydrauliques de la vallée de l’Oise de Pont-Sainte-Maxence à Baeumont-sur-Oise. Rapport BRGM/72-SGN-094-PNO, 48 p. 8 tab, 5 fig.

Vernoux J.F. , Le Nindre Y.M., Martin J.C. (2001) – Relations nappe-rivière et impact des prélèvements d’eau souterraine sur le débit des cours d’eau dans le bassin de la Juine et de l’Essone - Rapport BRGM/RP-50637-FR.

Vernoux J.F., Lions J., Petelet-Giraud E., Seguin J.J., Stollsteiner P., Lalot E. (2011) – Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR, 207 p., 91 ill., 1 ann.

Bibliographique spécifique relative à l'étude des relations nappes-rivières par modèle :

Modèles spatialisés

BRGM

a) Modèle des aquifères sédimentaires de Basse-Normandie

CROISSET.N., WUILLEUMIER.A., BESSIERE.H., GRESSELIN.F., SEGUIN.J.J. (2013) - Modélisation des aquifères de la plaine de Caen et du bassin de la Dives. Phase 2 : construction et calage du modèle hydrogéologique – Rapport BRGM/RP-62648-FR ; 130 p., 11 ann.

b) Modèles de la Somme et de l'Aisne (Picardie)

AMRAOUI.N., GOLAZ.C., MARDHEL.V., NEGREL.P., PETIT.V., PINAULT.J.L., POINTET.T. (2002) - Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme – Rapport BRGM/RP-51827-FR ; 184 p.

AMRAOUI.N., WUILLEUMIER.A., THIERY.D., CAOUS.J.Y., NOYER.M.L., GAUDEFROY.M.J (2004) - Mise à jour du modèle des hautes eaux de la Somme. Rapport BRGM/RP-53211-FR ; 151 p. 19 fig., 4 pht

AMRAOUI.N., SEGUIN.J.J. (2012) - Simulation par modèle maillé de l'impact d'épisodes pluvieux millénaux sur les niveaux de la nappe de la craie et les débits du fleuve Somme. Rapport BRGM/RP-61864-FR

BESSIERE.H., CHRETIEN.P., STOLLSTEINER.P., AMRAOUI.N., BARTHELEMY.Y., BAULT.V., BUSCARLET.E., FERET.M.J., THIERY.D. (2013) - Modélisation des niveaux de nappes dans le département de l'Aisne - Bassins versants de la Serre, de l'Aisne, de l'Omignon et de la Haute-Somme - Rapport BRGM/RP-60012-FR ; 246 p., 8 ann., 1 DVD.

GOMEZ.E. (2008) - Exploitabilité de la ressource en eau souterraine dans le bassin de l'Avre (Somme). Rapport BRGM/RP-56637-FR ; 30 p.

c) Modèle de l'Avre (Normandie / Centre)

DAVID.P.Y (2012) - Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre - Phase 1 : Etat de la connaissance ; Phase 2 : Analyse des données ; Rapport BRGM/RP-60458-FR ; 204 p., 7 ann.

ANTEA

Modèle spatialisé du bassin versant de la Retourne (affluent de l'Aisne) dans les Ardennes réalisé par le bureau d'étude ANTEA pour la Chambre d'Agriculture 08 et la DDT 08. Le BRGM a contribué à une mise à jour en 2008 :

CHABART.M., PANNET.P., VANCON.J.P., GURLIAT.G. (2008) - Etude de la gestion volumique de la ressource

SIGES Seine-Normandie

en eau sur le bassin versant de la Retourne (Ardennes). Rapport final - version 3. Commanditaires DDAF ARDENNES Rapport BRGM/RP-55594-FR 111 p., 5 ann. (<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55594-FR.pdf>)

ENSMP

Flipe N., Labarthe B., Baratelli F. (2013) - Relations eaux souterraines – réseau hydrographique du bassin Seine-Normandie : Calcul des Anomalies de débit - Référence Géosciences : R141105NFLI ; Référence ARMINES : PFGING30823

Gomez E., 2002. Modélisation intégrée du transfert de nitrate à l'échelle régionale dans un système hydrologique ; Application au bassin de la seine. Thèse, Ecole des Mines de Paris

Guigon-Moreau E. 2006. Transferts des pesticides vers les eaux superficielles et l'atmosphère : Caractérisation et modélisation sur le bassin versant de la Vesle –Thèse : Université Paris VI - Pierre et Marie Curie, 251 p.

Habets F., A. Boone, J.L Champeaux, P. Etchevers, L. Franchistéguy, E. Leblois, E. Ledoux, P. Le Moigne, E. Martin, S. Morel, J. Noilhan, P. Quintana Seguí F. Rousset-Regimbeau, P. Viennot, 2008, The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France, Journal of Geophysical Research, sous presse

Ledoux, E. Gomez, J.M. Monget, C. Viavattene, P. Viennot, A. Ducharne, M. Benoit, C. Mignolet, C. Schott and B. Mary, 2007, Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICSMODCOU modelling chain, Science of The Total Environment Volume 375, Issues 1-3, Pages 33-47.

Moreau Guigon E., Bacchi A., Botta F., Viennot P., Habets F. et Blanchoud H. 2008. Description du concept de fusion entre Phytodel et STICS-Phyto-MODCOU-NEWSAM pour la modélisation du transfert des pesticides vers l'atmosphère et les eaux de surface et souterraines. Rapport d'activité 2007 du PIREN-Seine

Rat, A., E. Ledoux et P. Viennot. 2006. Transferts de pesticides vers les eaux souterraines, modélisation à l'échelle d'un bassin versant: cas d'étude du bassin amont de la Vesle. Rapport d'activité 2005 du programme PIREN-Seine, 116 p

Modèles globaux de type boîte noire

Allier D., Asfirane F., Wuilleumier A. (2008) - Bassin Seine Normandie : estimation des volumes disponibles pour les prélèvements. Compléments sur 38 bassins versants. Rapport BRGM/RP-56690-FR

Normand M., Pinault J.L., Seguin J.J., Vernoux J.F. (2005) – Assistance au plan sécheresse en Ile de France. Analyse critique des données piézométriques et prévision de niveaux non influencés. Rapport BRGM/RP-54221-FR

Pinault J.L., Allier D., Chabart M., Pannet P., Perceval W. (2006) - Prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse. Rapport BRGM/RP-55087-FR

Pinault J.L., ARNAUD L. (2006) - Analyse critique des données piézométriques et prévision de niveaux non influencés en Haute-Normandie. Rapport BRGM/RP-54628-FR

Pinault J.L., Allier D., Verjus P. (2006) - Bassin Seine-Normandie. Estimation du volume disponible aux prélèvements de 45 petits bassins versants. Rapport BRGM/RP-55232-FR

BAULT.V., BESSIERE.H. (2013) - Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2013 sur quatre bassins versants en Picardie. Rapport BRGM/RP-62449-FR

Modèles globaux de type conceptuel

Arnaud L. (2007) – Atlas hydrogéologique numérique du Calvados. Volet quantitatif. Rapport BRGM/RP-55672-FR, 110 p, 64 illustrations, 3 annexes.

Equilbey, E., Normand, M., Schomburgk, S. (2006) - Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure - Volet bilan quantitatif. Rapport BRGM/RP-52988-FR

Martin J.C., Rouxel-David E., Batkowski D., Normand M., Chabart M. (2004) Élaboration d'une règle de gestion volumique de la ressource en eau du bassin de la Barbuise (Aube). Rapport BRGM/RP-53178-FR

Schmidt C., Chabart M., Normand M. (2006) - Élaboration de règles de gestion volumique de la ressource en eau pour les bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51). Rapport BRGM RP/54178-FR.

Normand M., Thiéry D. avec la collaboration de Gravier A., Nègre E. (2005) – Élaboration d'outils d'aide à la gestion en étiage du lac-réservoir Marne prenant en compte les eaux souterraines. Prévision des débits. BRGM/RP-53922-FR, 221 p., 54 fig., 28 tabl., 8 ann.

STOLLSTEINER P. (2013) – Connaissance des ressources disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux. Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne. Rapport final. BRGM/RP-61371-FR, 157 pages, 98 illustrations (figures et tableaux) et 3 annexes

Modèle globale couplé – Analyse isotopique

Arnaud L. (2007) – Etude des relations nappe-rivière en Haute-Normandie – Modélisations GARDENIA. Rapport BRGM/RP-55813-FR,

Petelet-Giraud E., Brenot A., Arnaud L. et al. (2007a) - Etude des relations nappe-rivière en Haute-Normandie, bassin de l'Austreberthe. Approche couplée par modélisation hydrologique et géochimie isotopique, BRGM/RP-55983-FR.