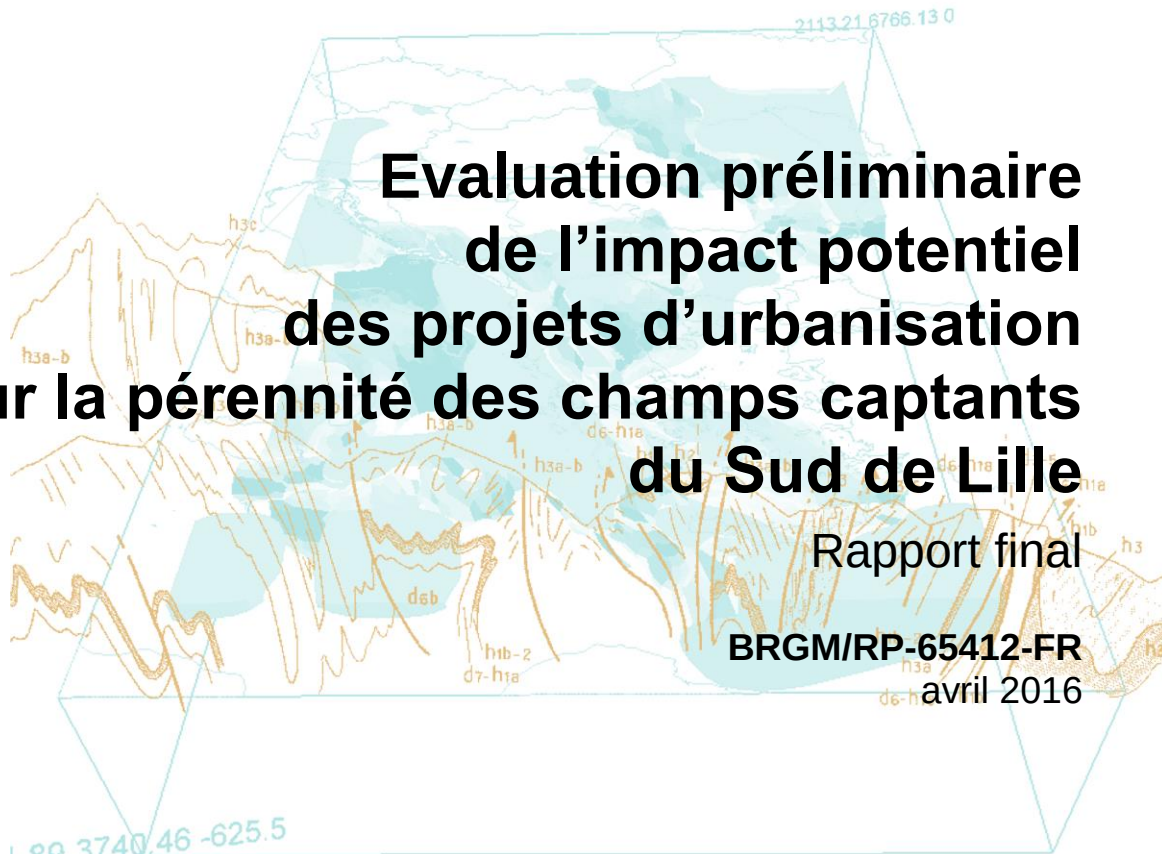




Evaluation préliminaire de l'impact potentiel des projets d'urbanisation sur la pérennité des champs captants du Sud de Lille

Rapport final

BRGM/RP-65412-FR
avril 2016

Evaluation préliminaire de l'impact potentiel des projets d'urbanisation sur la pérennité des champs captants du Sud de Lille

Rapport final

BRGM/RP-65412-FR

Avril 2016

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service Public du BRGM AP15NPC010

M. Parmentier et H. Bessiere

Vérificateur :

Nom : Y. Barthelemy

Fonction :

Date : 04/05/2016

Signature :



Approbateur :

Nom : JR Mossmann

Fonction :

Date : 25/04/2016

Signature :



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

Mots-clés : Alimentation en eau potable, bassin d'alimentation, urbanisation, imperméabilisation, modèle marthe, champ captant, lille, champs captants du sud de Lille

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

Parmentier M. et Bessière H. (2016) – Évaluation préliminaire de l'impact potentiel des projets d'urbanisation sur la pérennité des champs captants du Sud de Lille. Rapport final. BRGM/RP-65412-FR, 87 p., 43 fig., 6 tabl., 2 ann.

Synthèse

L'alimentation en eau potable de la métropole lilloise est assurée à hauteur de 40 % environ par les champs captants du Sud de Lille. Ces derniers permettent d'exploiter l'eau souterraine de la Craie qui est particulièrement intéressante à cet endroit : accessible, productive, renouvelable à l'échelle d'une vie humaine. Cette ressource irremplaçable est vulnérable et subit de plus en plus l'influence de l'urbanisation. Cette problématique concerne donc particulièrement le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) de Lille Métropole.

Conscient des enjeux de préservation de la ressource en eau au sud de Lille, le Syndicat mixte du SCOT a commandé une étude portant sur l'impact potentiel de l'urbanisation envisagée dans les champs captants. L'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole (ADULM), outil technique du Syndicat mixte du SCOT, et le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ont lancé cette étude dans le cadre d'une convention de recherche. L'étude s'appuie sur le modèle hydrodynamique récemment développé par le BRGM en partenariat avec la Métropole Européenne de Lille (MEL) pour aider à la gestion des champs captants alimentant la métropole lilloise.

La première phase du travail a porté sur l'analyse de l'aspect quantitatif : l'urbanisation provoque une imperméabilisation des sols, ce qui réduit la recharge pluviale de la nappe. Le travail mené cherche donc à évaluer l'impact de l'urbanisation sur la quantité d'eau disponible pour l'alimentation en eau potable.

La modélisation a permis d'évaluer les conséquences de cette diminution de la recharge, en tenant compte de l'ensemble des projets d'urbanisation projetés sur le territoire du SCOT pour les 20 ans à venir. Elle s'est basée sur une étape d'élaboration du projet de SCOT datant de juillet 2015, les projections d'urbanisation potentielle représentaient alors un total de 4 090 ha pour le SCOT dont 970 ha sur le territoire des champs captants. Il est à noter que les projections maximales d'urbanisation ont été revues à la baisse dans le projet de SCOT arrêté le 26 février 2016 : le total des extensions a été fixé à 2 650 ha pour les 20 ans à venir.

Le modèle, basé sur la plus large des projections d'urbanisation (juillet 2015), prévoit que l'imperméabilisation des sols conduirait, au niveau des champs captant du Sud de Lille, à :

- **une augmentation des apports d'eau par les rivières et canaux** (jusqu'à +14% sur le champ captant d'Emmerin) ;
- **une baisse du niveau d'eau dans la nappe de la Craie** (d'environ 10 cm sur le champ captant d'Emmerin et jusqu'à environ 2 m au droit d'une grande zone imperméabilisée) ;
- **peu d'impacts détectés sur les lignes d'écoulement et sur la superficie de l'aire d'alimentation des captages.**

Si les baisses des niveaux d'eau peuvent paraître modestes au vu des variations saisonnières, ces évolutions prédictives de la quantité d'eau au sein de la nappe sont cependant susceptibles d'avoir des conséquences sur la qualité de l'eau de la nappe, et ce pour plusieurs raisons :

- **compte tenu de la mauvaise qualité des eaux et sédiments des rivières et canaux** (du canal de la Deûle en particulier), **une augmentation des apports par les cours d'eau devrait mécaniquement diminuer la qualité de l'eau pompée dans la nappe** ;
- **lorsque la nappe est quasi-affleurante** (par exemple à la platière d'Emmerin), **une baisse même faible du niveau d'eau peut impacter la fonction épuratoire de la zone humide associée, voire menacer son existence même** ;

- **lorsque le niveau d'eau de la nappe est proche d'une interface géologique type Craie-Argile, une évolution de ce niveau peut engendrer le relargage ou le piégeage de substances indésirables** (Cary et Parmentier, 2014).

Si l'eau brute prélevée dans la nappe ne répond plus aux critères de qualité (définis par l'arrêté du 11 janvier 2007), elle ne pourra plus être utilisée pour la production d'eau potable.

La seconde phase de l'étude s'est attachée à développer une analyse qualitative : l'urbanisation amène un risque supplémentaire de pollution accidentelle ou diffuse. On cherche ici à expliciter de manière pédagogique le transfert de substances polluantes depuis le sol jusqu'aux forages d'alimentation en eau potable.

De nombreuses activités humaines (industrialisation, infrastructures de transport, gestion des eaux pluviales et des eaux usées, gestion des déchets, gestion des espaces verts, etc.) amènent un risque de contamination de la nappe par des pollutions diffuses ou accidentelles. L'eau qui s'infiltre dans le sol traverse les différentes couches géologiques et transite au sein de la nappe de la Craie, jusqu'à aboutir à l'un de ses exutoires, le plus important dans ce secteur étant les pompages d'eau destinés à l'alimentation en eau potable. Cette eau qui s'infiltre peut être porteuse de substances potentiellement polluantes. Le modèle hydrodynamique a permis d'évaluer les chemins parcourus par de telles substances au sein des différentes couches géologiques et d'en estimer les temps de transfert. Les trajectoires calculées et les temps de transfert associés restent toutefois indicatifs car indissociables des incertitudes inhérentes à la variabilité des situations (pluviométrie, niveaux de la nappe, distribution des pompages), à la modélisation et à l'état actuel des connaissances scientifiques.

Enfin, quelques recommandations sont données en conclusion, relevant essentiellement du bon sens et mettant à profit les réflexions échangées avec les membres du Comité technique ayant suivi l'ensemble de ces travaux.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte.....	11
2.1. L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA METROPOLE LILLOISE.....	11
2.2. LES CHAMPS CAPTANTS DU SUD DE LILLE	12
2.3. L'INFLUENCE DE L'URBANISATION.....	13
3. Outils et données disponibles.....	15
3.1. LE MODELE HYDROGEOLOGIQUE.....	15
3.1.1. Principales caractéristiques du modèle hydrodynamique	15
3.1.2. Résultats de calage autour de Lille et au droit des champs captants d'Emmerin et d'Houplin-Ancoisne	17
3.1.3. Paramètres du modèle entrant en jeu dans l'étude d'impact des projets d'urbanisation	17
3.2. LA BASE DE DONNEES DES PROJETS D'URBANISATION POTENTIELS ..	20
4. Aspects quantitatifs	23
4.1. METHODOLOGIE.....	23
4.1.1. Définitions des scénarios	23
4.1.2. Adaptation de la base de données des projets d'urbanisation potentiels dans les scénarios prédictifs	25
4.2. RESULTATS.....	29
4.2.1. Les lignes d'écoulement	29
4.2.2. Les chroniques piézométriques.....	31
4.2.3. Les bilans hydrodynamiques.....	34
4.3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS	42
5. Aspects qualitatifs.....	44
5.1. PREMIERS CALCULS.....	45
5.1.1. Méthodologie	45
5.1.2. Résultats.....	47
5.2. NOUVEAUX CALCULS	50
5.2.1. Méthodologie	50
5.2.2. Résultats.....	50
5.3. DISCUSSION ET CONCLUSION.....	53

6. Conclusions et recommandations	55
6.1. CONCLUSIONS	55
6.1.1. Aspects quantitatifs	55
6.1.2. Aspects qualitatifs	56
6.2. RECOMMANDATIONS	57
6.2.1. Quelques préconisations concernant l'usage du sol	57
6.2.2. La place de l'agriculture	57
6.2.3. Vers un « territoire de projet Sud »	58
6.3. PERSPECTIVES	58
7. Bibliographie	59

Liste des figures

Figure 1 : Principaux champs captants des unités de production participant à l'alimentation en eau potable de la Métropole (source : MEL)	11
Figure 2 : Capacité de production en eau potable de la Métropole Lilloise (source : MEL)	12
Figure 3 : Champs captants du Sud de Lille et zones réglementaires associées	13
Figure 4 : Maillage du modèle (mailles carrées de 500 m et de 100 m de côté)	15
Figure 5 : Paramètres et variables nécessaires à la modélisation hydrodynamique. Les chroniques de pluie et d'ETP (encadré rouge sur la figure) sont les variables clefs de l'étude d'impact des projets d'urbanisation	18
Figure 6 : Distribution spatiale des zones de précipitation homogène	19
Figure 7 : Pluviométrie mensuelle mesurée à la station de Lille-Lesquin, de 1982 à 2012	20
Figure 8 : Sélection des polygones dans le maillage principal (figure gauche) et dans le maillage affiné (figure droite)	21
Figure 9 : Représentation du plus petit polygone de la base de données des extensions potentielles à l'intérieur du maillage affiné	22
Figure 10 : Evolution des prélèvements des champs captants d'Emmerin et d'Houplin Ancoisne, de 1982 à 2012	23
Figure 11 : Estimation des taux d'imperméabilisation dans les parcs d'activité existants	24
Figure 12 : Redécoupage des polygones selon les mailles du modèle	26
Figure 13 : Sélection des mailles concernées par un taux d'imperméabilisation de 100% dans la zone affinée (avec un zoom à l'Ouest du champ captant d'Emmerin)	28
Figure 14 : Sélection des mailles concernées par les zones à urbaniser hors de la zone affinée	28
Figure 15 : Représentation graphique des scénarios d'imperméabilisation dans le maillage du modèle	29
Figure 16 : Comparaison des trajectoires inverses originaires des forages pour le scénario de référence et pour le scénario d'urbanisation avec 100% d'imperméabilisation	30
Figure 17 : Comparaison des trajectoires inverses originaires des forages pour les scénarios d'urbanisation à 80% et 100% d'imperméabilisation	31

Figure 18 : Points où une chronique piézométrique est demandée en sortie de modèle.	32
Figure 19 : Chroniques piézométriques au forage H1 pour le scénario de référence (ref) et les deux scénarios d'urbanisation (taux d'imperméabilisation de 100% et de 80%).	33
Figure 20 : Ecart entre la piézométrie du scénario de référence et les scénarios d'urbanisation (taux d'imperméabilisation de 100% et 80%) pour le forage H1.	33
Figure 21 : Ecart de piézométrie entre le scénario d'urbanisation 100% et le scénario de référence pour les forages sous recouvrement tertiaire.	33
Figure 22 : Ecart piézométrique (moyenne sur la période de simulation 10-31 ans) entre les scénarios d'urbanisation (80% ou 100% d'imperméabilisation) et le scénario de référence pour chacun des points.	34
Figure 23 : Délimitation des zones de bilan par champs captants, guidée par les contours des périmètres de protection rapprochés.	35
Figure 24 : Délimitation des zones où le modèle calcule un bilan hydrodynamique pour chacun des scénarios.	35
Figure 25 : Bilan hydrodynamique de la zone globale du Sud de Lille. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	36
Figure 26 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant d'Emmerin. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	37
Figure 27 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant d'Houplin-Ancoisne. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	38
Figure 28 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant des Ansereuilles Nord. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	39
Figure 29 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant de Sainghin-en-Weppes. En bleu, scénario de référence ; aucun écart simulé pour le scénario d'urbanisation 100%.	40
Figure 30 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant de Wavrin. En bleu, pour le scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	40
Figure 31 : Bilan hydrodynamique de la zone de Seclin. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	41
Figure 32 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant des Ansereuilles Sud. En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.	42
Figure 33 : Schéma représentant le transfert des molécules de nitrate depuis le sol jusqu'à l'aquifère	44
Figure 34 : Localisation des premiers sites pour le calcul des trajectoires	45
Figure 35 : Carte de localisation des mailles de départ des trajectoires et représentation des couches géologiques à l'affleurement (fond pastel)	46
Figure 36 : Choix des dates de départ des trajectoires : BE 1997 et HE 2001.	47
Figure 37 : Illustration de différentes porosités en fonction de la nature de la roche et de l'échelle d'observation.	47
Figure 38 : Tracé des trajectoires en fonction des différentes couches hydrogéologiques traversées (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite)	48
Figure 39 : Durée de parcours des trajectoires dans les couches hydrogéologiques (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite)	49

Figure 40 : Localisation des mailles de départ des trajectoires intégrant les sites complémentaires	50
Figure 41 : Tracé des trajectoires en fonction des différentes couches hydrogéologiques traversées (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite).....	51
Figure 42 : Durée de parcours des trajectoires dans les couches hydrogéologiques (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite)	52
Figure 43 : Exemples de trajectoires obtenues par le modèle.	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Couches du modèle hydrogéologique.	16
Tableau 2 : Analyse des polygones de la base de données des extensions potentielles	21
Tableau 3 : Prélèvements maximum autorisés par arrêté préfectoral et prélèvements 2012.....	24
Tableau 4 : Redécoupage des polygones de la base de données des projets d'urbanisation et transposition des extensions potentielles dans le maillage du modèle.	25
Tableau 5 : Mode de calcul des surfaces (en ha) des parcelles à imperméabiliser et des nombres de mailles imperméabilisées dans chacun des scénarios d'urbanisation.	27
Tableau 6 : Description des sites de départ des trajectoires.....	46

Liste des annexes

Annexe 1 Comparaison des chroniques piézométriques simulées pour les différents scénarios prévisionnels	61
Annexe 2 Numéros BSS des ouvrages de prélèvement	81

1. Introduction

L'alimentation en eau potable de la métropole Lilloise est assurée à hauteur de 40% environ par les champs captants du Sud de Lille. Ces derniers permettent d'exploiter l'eau souterraine de la Craie qui est particulièrement intéressante à cet endroit : accessible (peu profonde et proche des besoins en eau), très productive, renouvelable à l'échelle d'une vie humaine.

Cette ressource est également particulièrement vulnérable et subit de plus en plus l'influence de l'urbanisation du pôle lillois qui continue de s'étendre. Cette problématique concerne donc particulièrement le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) de Lille Métropole. Conscient des enjeux de préservation de la ressource en eau au sud de Lille, le Syndicat mixte du SCOT a commandé une étude portant sur l'impact potentiel de l'urbanisation envisagée dans les champs captants. L'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole (ADULM), outil technique du SCOT, a alors demandé au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) de mener ce travail dans le cadre d'une convention de recherche.

Ce rapport constitue le produit livré d'un projet financé par l'ADULM et le BRGM sur fond dédié aux aides aux politiques publiques. L'objectif est de fournir des éléments de réponse pour l'élaboration du SCOT. Ces réponses ont été analysées par le Comité technique qui a accompagné la progression de ce travail. Le Comité technique est composé de :

- L'ADULM
- La DREAL Nord-Pas-de-Calais
- L'Agence de l'Eau Artois-Picardie
- La MEL, Direction Eau et assainissement
- La MEL, Direction Planification stratégique et gouvernance
- La DDTM 59, Délégation territoriale de Lille, suivi SCOT
- M. Henri Maillot, hydrogéologue expert indépendant

Le travail a comporté deux tâches.

La première tâche s'est intéressée à l'aspect quantitatif : l'urbanisation provoque une imperméabilisation des sols, ce qui réduit la recharge pluviale de la nappe. On cherche donc à évaluer l'impact de l'urbanisation sur la quantité d'eau disponible pour l'alimentation en eau potable.

La deuxième tâche s'est attachée à l'aspect qualitatif : l'urbanisation amène un risque supplémentaire de pollution accidentelle ou diffuse. On cherche ici à expliciter de manière pédagogique le transfert de substances polluantes depuis le sol jusqu'aux forages d'alimentation en eau potable.

Ce travail utilise le modèle hydrodynamique récemment développé par le BRGM en partenariat avec la MEL pour aider à la gestion des champs captants alimentant la métropole lilloise.

Après une description du contexte (chapitre 2) et des outils et données utilisées (chapitre 3), les deux tâches sont traitées dans les chapitres 4 et 5. Enfin, des conclusions et recommandations font l'objet du chapitre 6.

2. Contexte

2.1. L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA METROPOLE LILLOISE

L'eau potable alimentant la métropole Lilloise provient de trois ressources différentes :

- La nappe de la Craie, qui s'étend sur une grande partie du territoire, est une ressource très vulnérable, avec un état qualitatif dégradé (pollution anthropique, aggravée en cas de surexploitation) et un état quantitatif fragile (forte sollicitation amenant des déséquilibres locaux et une vulnérabilité à la sécheresse) ;
- La nappe des Calcaires carbonifères (au Nord de Lille) est une ressource transfrontalière avec la Belgique, peu vulnérable (sous couverture argileuse) mais en mauvais état quantitatif du fait d'une surexploitation au siècle dernier ;
- L'eau de surface de la Lys, ressource très vulnérable ayant une productivité limitée par le respect des débits réservés en étiage.

Les unités de production (Figure 1) permettent de répondre à la demande actuelle, sans grande marge de manœuvre lors des situations de sécheresse ou en cas de perte d'une composante de production (Figure 2).

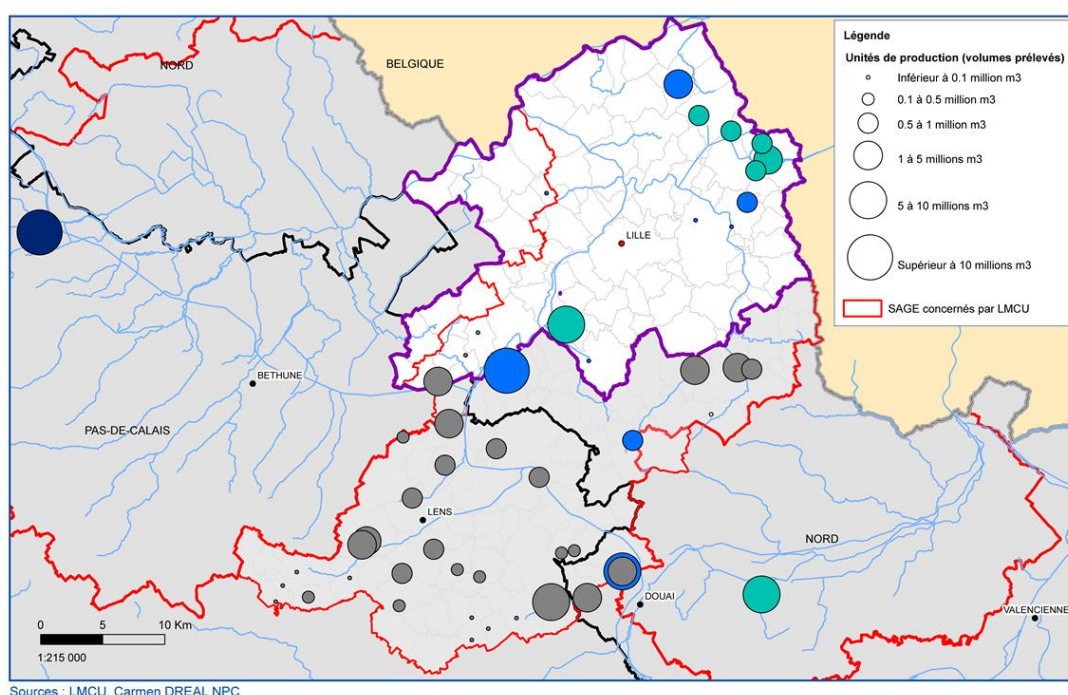


Figure 1 : Principaux champs captants des unités de production participant à l'alimentation en eau potable de la Métropole (source : MEL)

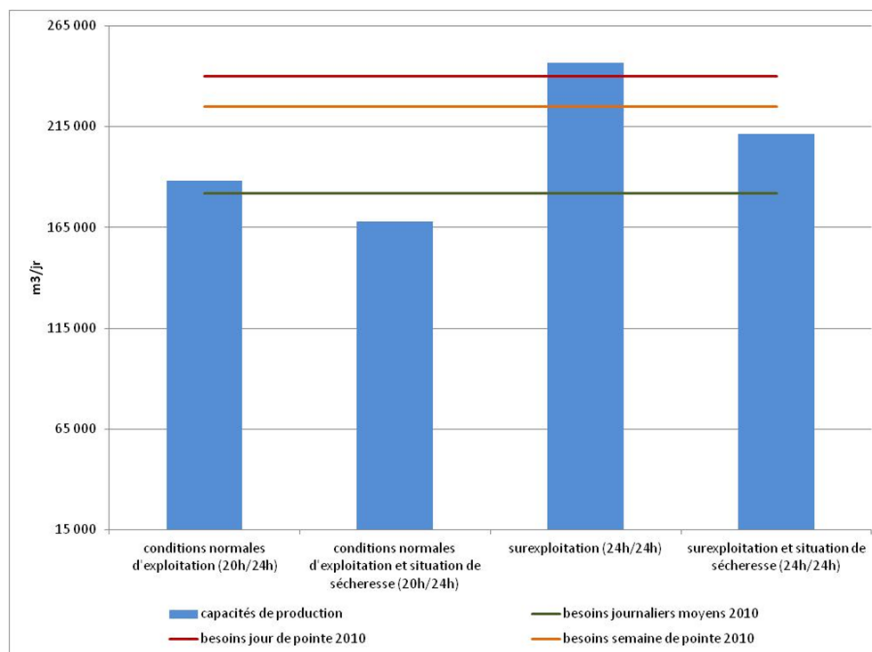


Figure 2 : Capacité de production en eau potable de la Métropole Lilloise (source : MEL).

2.2. LES CHAMPS CAPTANTS DU SUD DE LILLE

Au Sud de Lille, la « nappe de la Craie » est située sous les limons et les alluvions de la vallée de la Deûle, dans les couches de Craie du Sénonien et du Turonien supérieur ; elle repose sur les marnes peu perméables du Turonien moyen et inférieur (les « Dièves ») qui en forment le mur. Ce mur se rencontre à environ 30 m de profondeur au Sud de Lille.

Du fait de la configuration géologique particulière de ce secteur (les géologues parlent du « dôme anticlinal du Mélantois »), la nappe de la Craie est ici très peu profonde, voire pratiquement à l'affleurement. Sur ce secteur, la nappe de la Craie est également très productive, en raison d'une fissuration intense, voire d'une véritable fracturation de la roche (faille de Seclin, p. ex.).

La recharge de la nappe de la Craie se fait essentiellement par infiltration pluviale sur une aire d'alimentation des captages (AAC) d'environ 15 000 ha (cf Figure 3). Les eaux de la nappe de la Craie sont relativement récentes. Il s'agit d'une ressource renouvelable à l'échelle d'une vie humaine.

Au Sud de Lille, la nappe de la Craie constitue donc une excellente ressource en eau. Ses caractéristiques ont, depuis longtemps, conduit les hommes à y prélever de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable. Des monuments anciens en témoignent, telles que les « fontaines » ou « sources » Billaut, de Ghermanez et de la Creussonière qui datent des années 1870. Aujourd'hui, les champs captant du sud de Lille alimentent la métropole européenne de Lille à hauteur de 40% de ses besoins en eau potable.

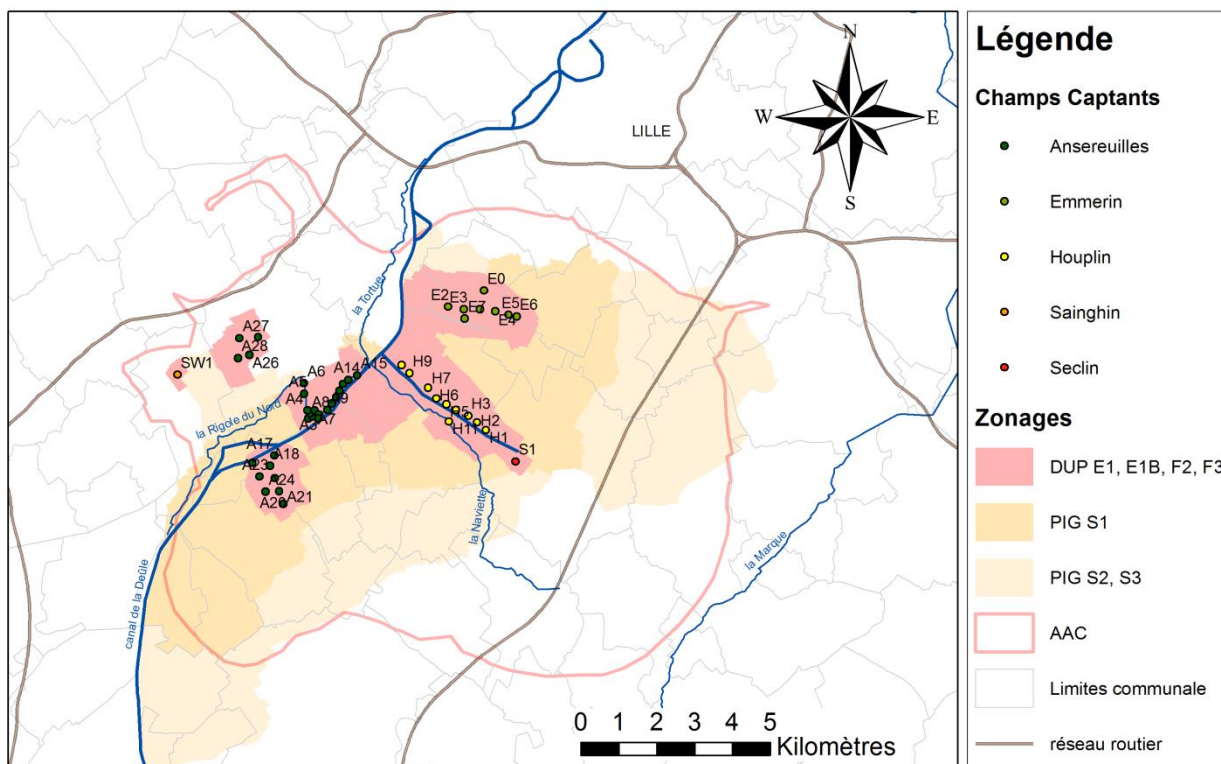


Figure 3 : Champs captants du Sud de Lille et zones réglementaires associées.

La nappe de la Craie au Sud de Lille est particulièrement vulnérable du fait de sa faible profondeur et du faible recouvrement. La vulnérabilité intrinsèque de cette nappe est décrite dans le diagnostic Territorial Multi-Pression (DTMP, 2009), en grande partie inspiré par l'analyse de la vulnérabilité à l'échelle régionale (Beckelynck et al., 1970).

La ressource en eau de la nappe de la Craie au Sud de Lille a fait l'objet de diverses actions de protection avec une déclaration comme captage prioritaire Grenelle, une Déclaration d'Utilité Publique (DUP), et un Projet d'Intérêt Général (PIG) arrêté en 2007. Une Opération de Reconquête de la Qualité de l'Eau (ORQUE) est également en cours.

2.3. L'INFLUENCE DE L'URBANISATION

Le territoire du Sud de Lille subit l'influence du pôle urbain lillois et devient de plus en plus attractif tant d'un point de vue économique que résidentiel.

L'urbanisation engendre inévitablement une imperméabilisation des sols. L'eau pluviale, qui autrefois s'infiltrait ou ruisselait selon la nature du sol, doit désormais être gérée. En matière de gestion des eaux pluviales, les recommandations du SDAGE et de la MEL visent à favoriser l'infiltration à la source (Guide des eaux pluviales de la MEL, 2012). Néanmoins, quelle que soit la gestion des eaux pluviales, l'imperméabilisation des sols conduit à une diminution de l'infiltration. En effet, même avec des aménagements destinés à favoriser l'infiltration, une partie des eaux de ruissellement subit une évaporation. Par ailleurs, la qualité des eaux qui ruissellent sur des surfaces urbanisées ne permet pas toujours de les laisser s'infiltrer sans risque de pollution de la nappe aquifère. Ainsi, quelle que soit la gestion des eaux pluviales envisagée, l'urbanisation induit un risque de diminution de la recharge de la nappe.

Pour maintenir une recharge de la nappe de la Craie à la hauteur des besoins des champs captants, une réflexion approfondie sur l'occupation du sol sur le territoire de l'aire d'alimentation des captages est primordiale. La stratégie d'occupation du sol est intégrée au Schéma de Cohérence Territorial (SCOT) dont l'élaboration est à la charge de l'ADULM.

Le SDAGE 2016-2021 précise :

« Orientation A-2 : Maitriser les rejets par temps de pluie en milieu urbanisé par voies alternatives (maitrise de la collecte et des rejets) et préventives (règles d'urbanisme notamment pour les constructions nouvelles)

Disposition A-2.1 : Gérer les eaux pluviales

Les orientations et prescriptions des SCOT et des PLU communaux et intercommunaux comprennent des dispositions visant à favoriser l'infiltration des eaux de pluie à l'emprise du projet et contribuent à la réduction des volumes collectés et déversés sans traitement au milieu naturel.

La conception des aménagements ou des ouvrages d'assainissement nouveaux intègre la gestion des eaux pluviales dans le cadre d'une stratégie de maitrise des rejets. Les maitres d'ouvrages évaluent l'impact de leur réseau d'assainissement sur le milieu afin de respecter les objectifs physico-chimiques assignés aux masses d'eau. »

3. Outils et données disponibles

3.1. LE MODELE HYDROGEOLOGIQUE

Un modèle hydrodynamique d'aide à la gestion des champs captants alimentant la métropole lilloise est développé depuis plusieurs années par le BRGM en partenariat avec la MEL. Le modèle actuel (Bessière et al., 2015), est basé sur le modèle élaboré lors du projet SIGES (Buscarlet et Pickaert, 2011), qui a ensuite été affiné sur les champs captants de la métropole lilloise (dont les champs captants du Sud de Lille). Ce chapitre décrit brièvement les caractéristiques majeures du modèle hydrodynamiques de Bessière et al. (2015).

3.1.1. Principales caractéristiques du modèle hydrodynamique

Maillage

La zone affinée est caractérisée par une taille de maille plus petite que celle des mailles du modèle régional (Figure 4).

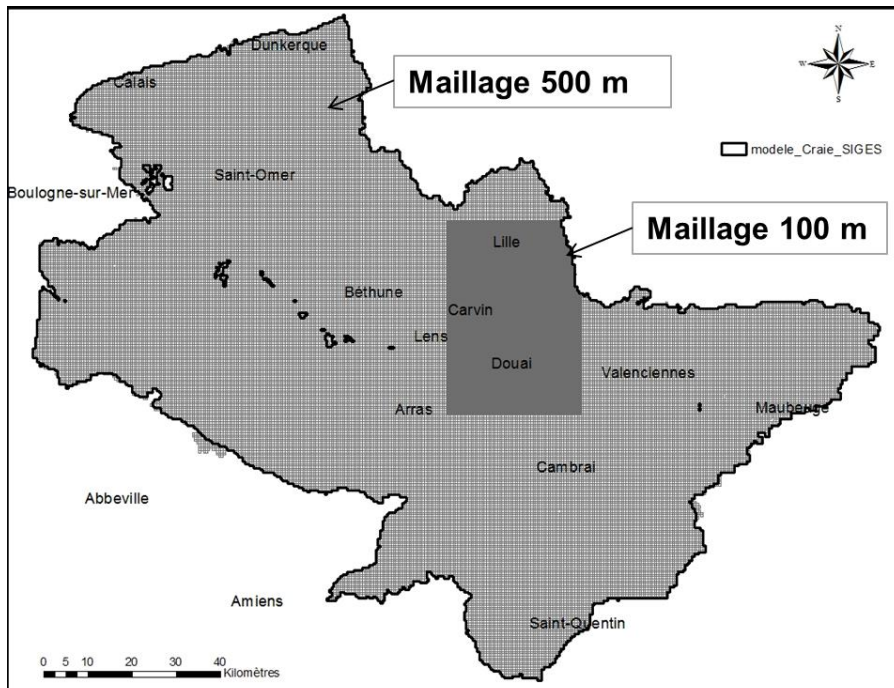


Figure 4 : Maillage du modèle (mailles carrées de 500 m et de 100 m de côté).

Couches modélisées

Dans le modèle, dix couches de mailles sont prises en compte (Tableau 1) pour différencier les principales formations rencontrées dans le domaine modélisé. De haut en bas, c'est-à-dire des formations les plus récentes aux plus anciennes :

- les alluvions et les sables littoraux quaternaires,
- les Limons des Plateaux quaternaires,
- les Argiles des Flandres yprésiennes,
- les Sables d'Ostricourt du Landénien supérieur,
- les Argiles de Louvil du Landénien inférieur,
- la Craie blanche à silex séno-turonienne productive,
- la Craie blanche à silex séno-turonienne non productive,
- les Dièves vertes et bleues du Turonien moyen et inférieur,
- les Craies et marnes cénomaniennes,
- le « socle » âgé du Crétacé inférieur, Jurassique et Paléozoïque.

Tableau 1 : Couches du modèle hydrogéologique.

Couche 1	Alluvions + sables littoraux	Aquifère
Couche 2	Limons	Semi-perméable
Couche 3	Argiles des Flandres – Yprésien	Aquitard
Couche 4	Sables d'Ostricourt – Landénien	Aquifère
Couche 5	Argiles de Louvil	Aquitard, aquifère dans les horizons sableux indurés
Couche 6	Craie du Séno-Turonien productive	Aquifère
Couche 7	Craie du Séno-Turonien non productive	Aquitard
Couche 8	Dièves	Aquitard
Couche 9	Cénomaniens	Aquitard et aquifère dans le Cénomaniens riche en craie
Couche 10	Carbonifère	Aquifère

Pas de temps et période de modélisation

Les calculs de bilan hydroclimatique sont réalisés au pas de temps décadaire et ceux des bilans hydrodynamiques au pas de temps mensuel. Le modèle a été calé en régime transitoire sur une période de 31 ans allant de janvier 1982 à décembre 2012 (soit 372 pas de temps mensuels).

Le modèle utilise des chroniques de prélèvements annuels jusqu'en 2006, puis mensuels au-delà. Les données de prélèvement sont issues de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie,

responsable de la collecte de la redevance sur les prélèvements. Lorsque c'est possible, des chroniques de prélèvements mensuels disponibles auprès des producteurs d'eau sont utilisées.

3.1.2. Résultats de calage autour de Lille et au droit des champs captants d'Emmerin et d'Houplin-Ancoisne

Sur le secteur Nord et centre de Lille, ainsi que sur le champ captant d'Hempempont, le couplage mis en place avec la nappe des calcaires du Carbonifère a permis une bonne restitution par le modèle des niveaux piézométriques relevés sur les différents ouvrages de suivi.

Dans les champs captants d'Emmerin et d'Houplin-Ancoisne, les résultats du calage sont très satisfaisants. A Emmerin, les valeurs de perméabilité de la nappe de la Craie productive apparaissent très élevées. Le calage de la zone du champ captant d'Houplin s'avère très sensible à la perméabilité assignée à l'aquifère, ce qui pourrait traduire une fragilité locale du modèle.

Dans le secteur des Ansereuilles, les puits de pompage sont très nombreux et rapprochés, ce qui complexifie le calage du modèle. Les différentes simulations ont montré que cette zone est particulièrement sensible à deux paramètres de calage : la perméabilité de la nappe de la Craie productive et la perméabilité des échanges nappe-rivière. Les résultats obtenus sont satisfaisants sur l'ensemble du champ captant et, plus au Sud, la piézométrie est très bien reproduite.

3.1.3. Paramètres du modèle entrant en jeu dans l'étude d'impact des projets d'urbanisation

Les paramètres et variables nécessaires à la modélisation des écoulements souterrains sont présentés à la Figure 5. On différencie deux types de paramètres. Les données d'entrée ou paramètres définis *a priori* (en vert sur la Figure 5) qui ont une valeur fixe pendant toute la durée de la simulation, et les variables ou paramètres de calage (en bleu cyan sur la Figure 5) qui, n'étant évalués que par interprétation de mesures ponctuelles ou n'étant pas accessibles aux mesures, doivent être ajustés ou déterminés au cours des phases de calage du modèle.

Les paramètres entrant en jeu dans la présente étude d'impact des projets d'urbanisation sont ceux relatifs aux **chroniques de pluie et d'ETP** et plus particulièrement à leur distribution spatiale dans le modèle.

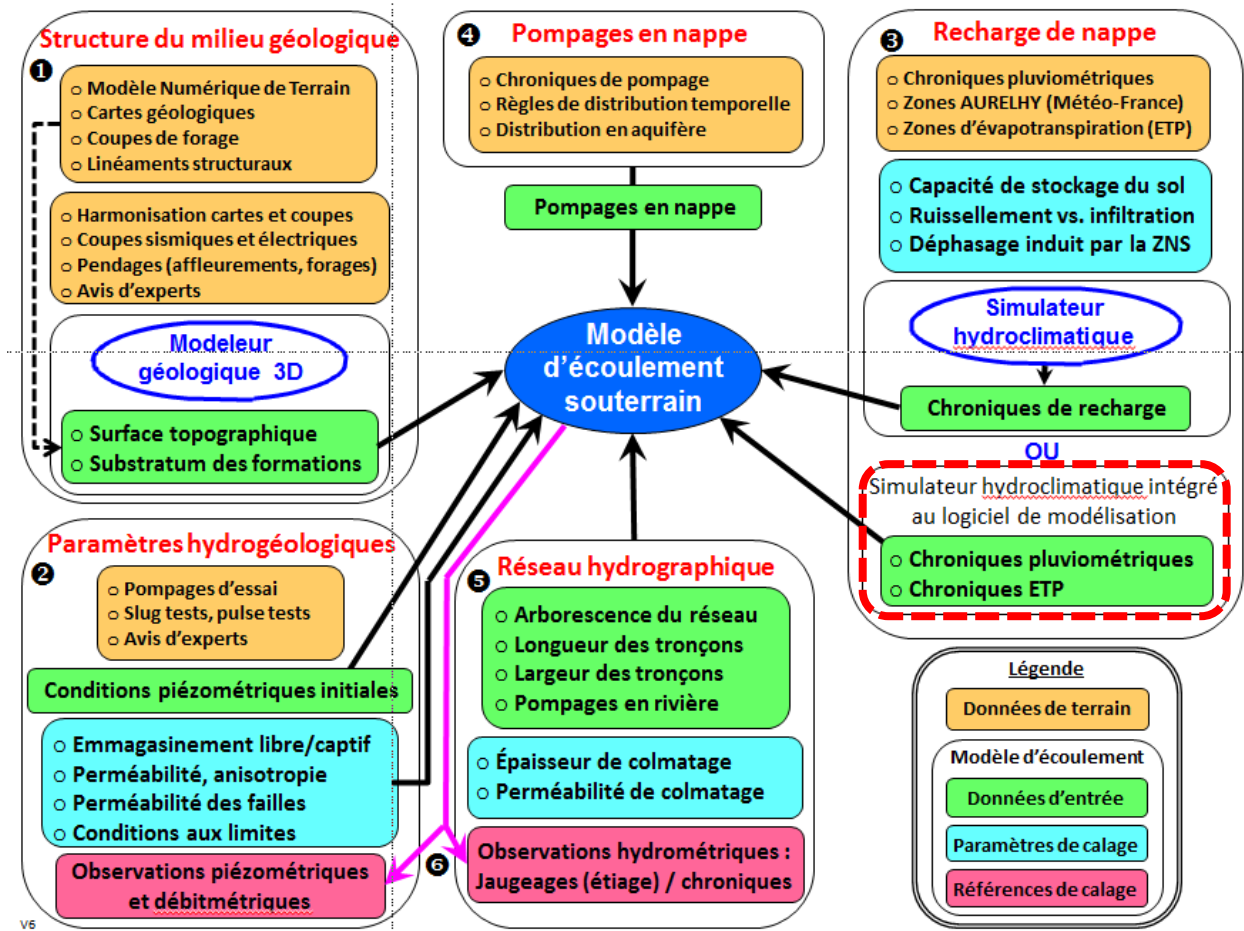


Figure 5 : Paramètres et variables nécessaires à la modélisation hydrodynamique.
Les chroniques de pluie et d'ETP (encadré rouge sur la figure) sont les variables clés de l'étude d'impact des projets d'urbanisation.

À chaque pas de temps, un bilan entre la pluie et l'Évapotranspiration Potentielle (ETP) est réalisé dans chaque « zone hydroclimatique » du modèle. Ces zones sont des « zones de sol » pour lesquelles est calculée une pluie efficace à partir d'un bilan hydrologique faisant intervenir la pluie brute, l'évapotranspiration potentielle (ETP) et une capacité de rétention d'eau par le sol. La pluie efficace est répartie entre :

- une infiltration (recharge de la nappe), introduite dans la première couche du modèle au droit des « zones de sol ».
- un ruissellement, transféré au cours du même pas de temps vers le tronçon du réseau hydrographique :
 - situé en aval si on dispose des directions de ruissellement calculées à partir du MNT,
 - le plus proche, si on ne dispose pas des directions de ruissellement.
- En l'absence de réseau hydrographique, le ruissellement est infiltré dans la nappe.

Couplage avec le calcul hydrodynamique de la nappe :

Les calculs de bilan hydroclimatique sont réalisés à chaque pas de temps. Pour accélérer les calculs dans les nappes présentant une certaine inertie, les calculs hydrodynamiques peuvent être effectués à une fréquence inférieure. Dans ce cas, pendant les pas de temps intermédiaires (sans calculs hydrodynamiques), les niveaux de nappe sont considérés comme

invariants, ainsi que les échanges entre nappe et rivières. Le cumul des composantes de recharge et de ruissellement est ensuite appliqué au prochain calcul hydrodynamique.

Les flux de pluie brute et d'ETP sont assignés par « zone météo », dans des fichiers séparés pour faciliter l'introduction et la mise à jour des données. Ces fichiers sont constitués à partir des chroniques météorologiques fournies par Météo-France pour les différentes stations météorologiques de la zone d'étude.

Seize stations météorologiques ont été retenues pour la zone modélisée, sur la base des données disponibles et de leur fiabilité. Le modèle a donc été découpé en 16 zones météorologiques (Figure 6). Dans une zone météorologique, toutes les mailles reçoivent les mêmes précipitations.

Dans la zone d'intérêt des champs captants du Sud de Lille, le modèle utilise la chronique de la station de Lille-Lesquin (code station 59343001), dont la pluviométrie moyenne annuelle calculée entre 1982 et 2012 s'élève à 739.9 mm/an.

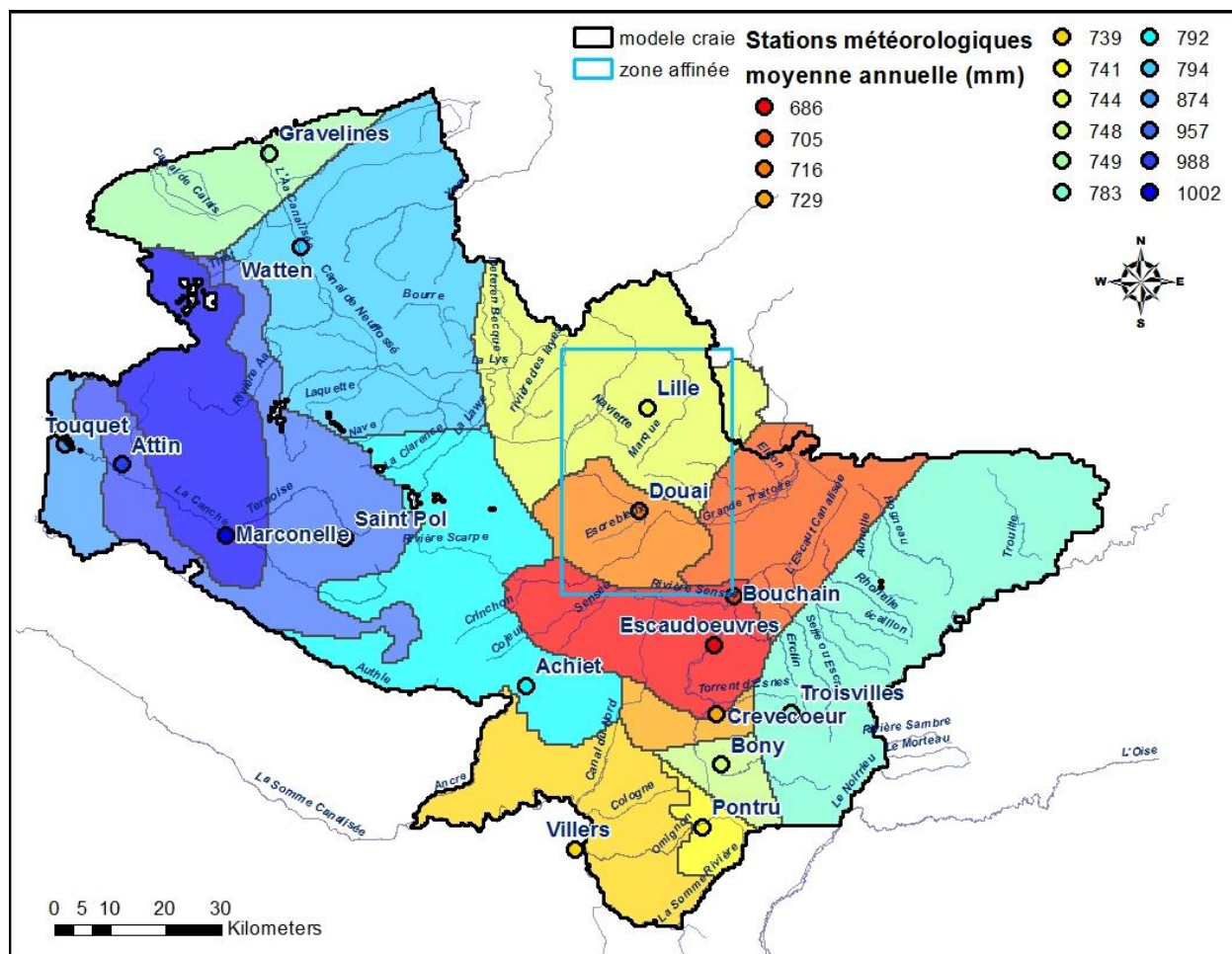


Figure 6 : Distribution spatiale des zones de précipitation homogène.

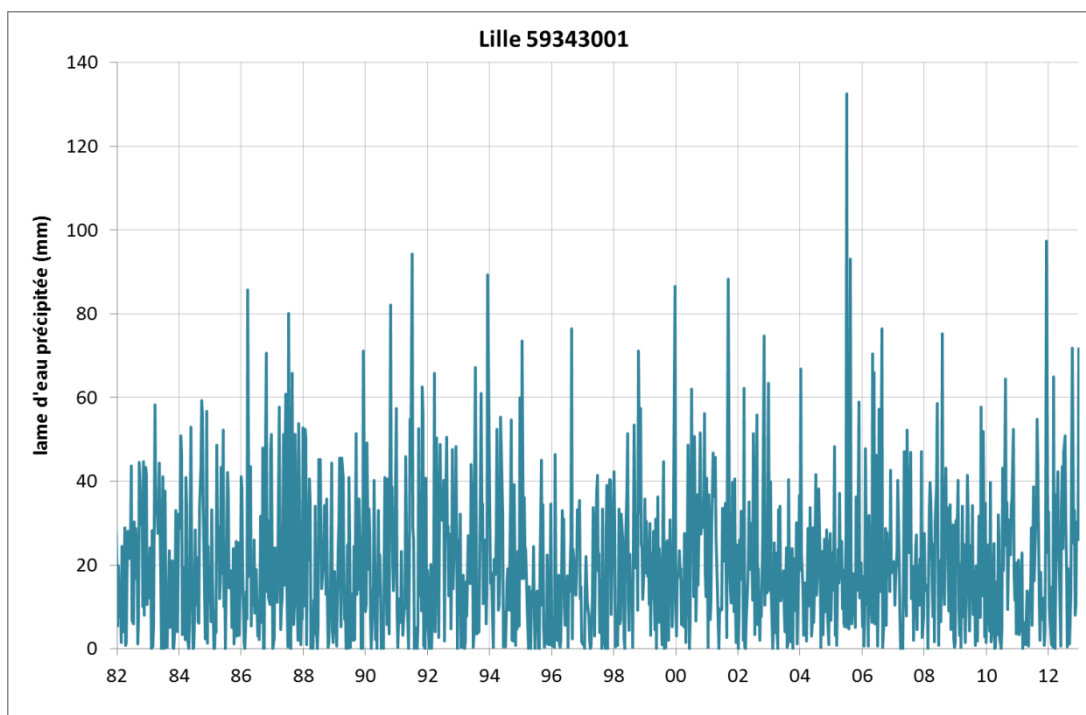


Figure 7 : Pluviométrie mensuelle mesurée à la station de Lille-Lesquin, de 1982 à 2012.

3.2. LA BASE DE DONNEES DES PROJETS D'URBANISATION POTENTIELS

L'ADULM a recensé les potentialités d'urbanisation future projetées d'ici 2035. La base de données de ces potentialités a été transmise au BRGM dans sa version du 20 juillet 2015. Il s'agit de 441 parcelles réparties sur l'ensemble du territoire du SCOT et représentant une surface totale d'environ 4 090 ha, dont près de 1 000 ha se situent sur l'Aire d'Alimentation des captages du sud de Lille. Il est à noter que le projet final du SCOT, arrêté le 26 février 2016, ne confirme pas l'ensemble de ces sites et a restreint les futures extensions pour les 20 ans à venir à 2 650 ha pour l'ensemble du territoire du SCOT.

Une analyse et un traitement de la base de données des extensions potentielles ont été réalisés sur la base des superficies des polygones associés. Le Tableau 2 présente cette analyse, à la fois pour le maillage de base du modèle (carrés de 500 m de côté, soit 25 ha) et pour le maillage affiné (carrés de 100 m de côté, soit 1ha) (Figure 8).

Tableau 2 : Analyse des polygones de la base de données des extensions potentielles

	En totalité	Dans le maillage principal	Dans le maillage affiné
Nombre polygones	441	96	345
surface minimale	0.1 ha	0.65 ha	0.1 ha
surface maximale	90.5 ha	90.5 ha	86.8 ha
surface moyenne	9.27 ha	11.9 ha	8.53 ha
surface totale	4090.3 ha	1146.7 ha	2943.5 ha
Ecart Type surface	12.8 ha	12.8 ha	12.8 ha

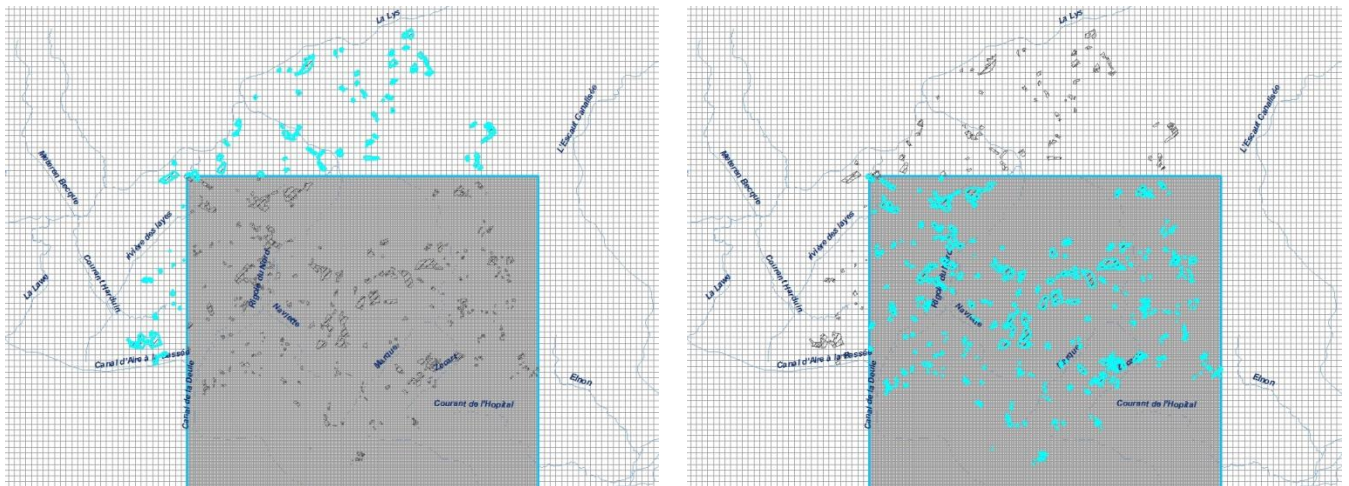


Figure 8 : Sélection des polygones dans le maillage principal (figure gauche) et dans le maillage affiné (figure droite)

La Figure 9 montre un zoom sur le plus petit polygone de la base de données, couvrant 0.1 ha à l'intérieur du maillage affiné (grille carrée de 100 m de côté).



Figure 9 : Représentation du plus petit polygone de la base de données des extensions potentielles à l'intérieur du maillage affiné.

4. Aspects quantitatifs

Afin d'évaluer les conséquences d'une diminution de la recharge des nappes liée à l'urbanisation, des scénarios prédictifs ont été construits en utilisant la base de données des projets d'urbanisation potentiels (paragraphe 3.2) ; ils ont ensuite été simulés en utilisant le modèle hydrodynamique (paragraphe 3.1).

4.1. METHODOLOGIE

4.1.1. Définitions des scénarios

Les scénarios consistent en différentes anticipations d'urbanisation, pour lesquelles le comportement à long terme (simulation sur 31 ans) de la nappe est analysé.

Les paramètres invariants

Afin de pouvoir comparer les scénarios entre eux, certaines données d'entrée du modèle sont identiques pour tous les scénarios. Ce sont les paramètres invariants :

- Le scénario de pluie correspond à la pluviométrie réellement mesurée aux postes pluviométriques entre 1982 à 2012. En faisant l'hypothèse d'un changement climatique négligeable pour les 31 années à venir, un tel scénario de pluie peut être considéré comme relativement réaliste.
- Les prélèvements sont constants tout au long des simulations et correspondent à ceux de l'année 2012. Les données mensuelles de prélèvements de l'année 2012 sont directement disponibles car elles font partie de la période de calage du modèle de Bessière et al. (2015). Ils correspondent à la situation la plus proche de la situation actuelle et de la situation probable des années à venir. En particulier, ils intègrent le redémarrage du champ captant d'Emmerin, commencé en 2007 (Figure 10). Un scénario pessimiste avec des prélèvements correspondant aux débits maximum autorisés (selon les arrêtés préfectoraux, Tableau 3) a été abandonné car trop irréaliste. En effet, pour différentes raisons liées à la qualité et à la quantité de la ressource en eau, la MEL estime qu'il n'est pas possible d'augmenter les pompages des champs captants du sud de Lille.

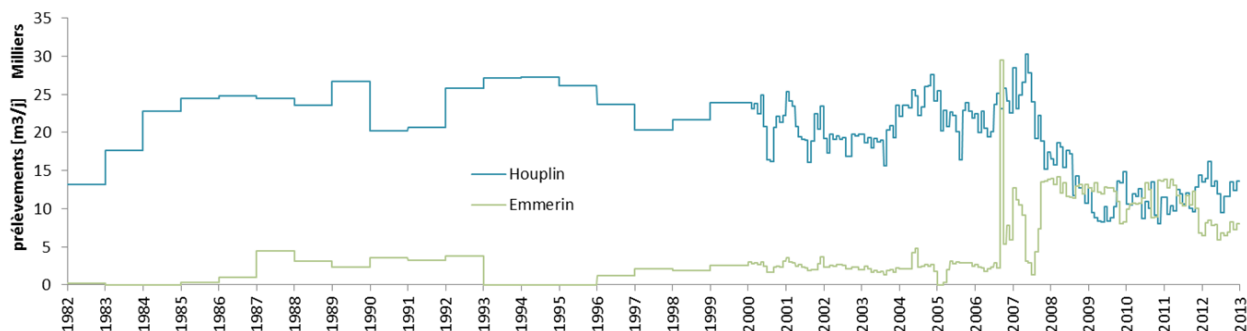


Figure 10 : Evolution des prélèvements des champs captants d'Emmerin et d'Houplin Ancoisne, de 1982 à 2012.

Tableau 3 : Prélèvements maximum autorisés par arrêté préfectoral et prélèvements 2012

Champ captant	arrêté préfectoral m ³ /jr	prélèvement 2012 m ³ /jr
Houplin-Ancoisne + Emmerin	26 000	15 559
Ansereuilles	75 000	53 083
Seclin	5 000	4 684
Sainghin en Weppes	600	892

La piézométrie initiale des scénarios correspond à la piézométrie 2012 simulée par le modèle en fin de calage (Bessière et al., 2015).

Le scénario de référence

Le scénario de référence correspond au modèle de Bessière et al. (2015) sans aucune urbanisation, et sans autres modifications que celles des paramètres invariants explicités précédemment. Ce modèle étant calé sur la période 1982-2012, il est considéré comme représentatif de l'urbanisation de l'année 2012. Ce scénario représente implicitement l'urbanisation actuelle ; il servira de référence pour évaluer les impacts générés par les autres scénarios d'urbanisation.

Les scénarios d'imperméabilisation

Dans les scénarios d'urbanisation, il convient de prendre en compte les nouvelles zones d'urbanisation et leur taux d'imperméabilisation des sols. Ces nouvelles zones d'urbanisation nouvelles peuvent être définies d'après les parcelles, recensées pas l'ADULM, portant un projet d'urbanisation futur (cf paragraphe 3.2). Les taux d'imperméabilisation des parcelles urbanisées ont été évalués par l'ADULM sur des parcelles urbanisées actuelles (Figure 11). Le taux d'imperméabilisation maximum se situe autour de 80%.

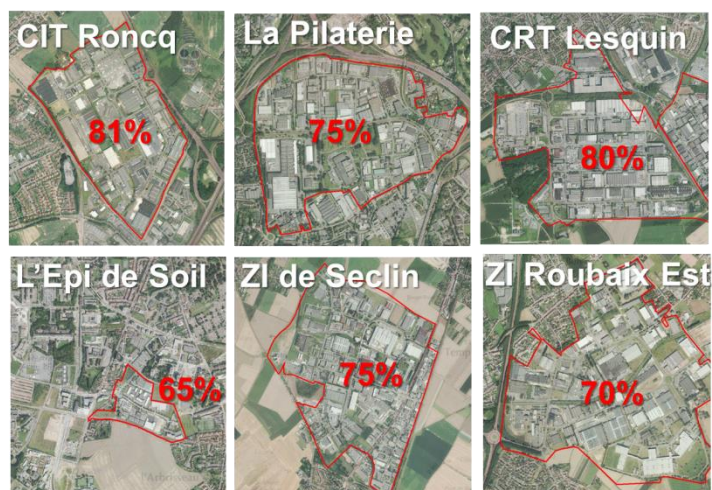


Figure 11 : Estimation des taux d'imperméabilisation dans les parcs d'activité existants

Deux scénarios sont simulés :

- un premier scénario avec un taux d'imperméabilisation de 80%,
- un second scénario avec un taux d'imperméabilisation de 100%, valeur maximale théorique.

Les eaux tombant sur une surface imperméabilisée sont considérées, dans le modèle, comme définitivement perdues pour l'hydrosystème. Cela sous-entend une gestion des eaux pluviales où toute l'eau pluviale est soit évaporée, soit collectée et transportée vers un exutoire autre que l'infiltration dans la nappe de la Craie. Cette hypothèse est simpliste mais elle n'est pas exagérément pessimiste dans la mesure où : 1) même dans le cas d'une infiltration à la source, une bonne part de l'eau tombant sur une surface imperméabilisée s'évapore, et 2) les risques de pollution des eaux ruisselées amènent à se poser la question de la pertinence d'infiltrer les eaux pluviales.

4.1.2. Adaptation de la base de données des projets d'urbanisation potentiels dans les scénarios prédictifs

Redécoupage de la base de données selon les mailles du modèle

Un travail préalable a été nécessaire afin d'adapter la base de données des projets d'urbanisation potentiels au maillage du modèle afin de ne pas biaiser les surfaces imperméabilisées en simulant les scénarios. Pour ce faire, les 441 parcelles de la base de données ont été redécoupées selon le maillage du modèle, conduisant ainsi à 6 496 polygones. Ce traitement est détaillé dans le Tableau 4 ; il est illustré à la Figure 12.

Tableau 4 : Redécoupage des polygones de la base de données des projets d'urbanisation et transposition des extensions potentielles dans le maillage du modèle.

	En totalité	Dans le maillage principal (maille de 25 ha)	Dans le maillage affiné (maille de 1 ha)
Nombre polygones	6496	344	6152
surface min	0.000001 ha	0.00034 ha	0.000001 ha
surface max	23.8 ha	23.8 ha	0.99 ha
surface moy	0.63 ha	3.3 ha	0.48 ha
surface totale	4090.3 ha	1150.5 ha	2939.7 ha
Ecart Type surface	1.18 ha	4 ha	0.38 ha

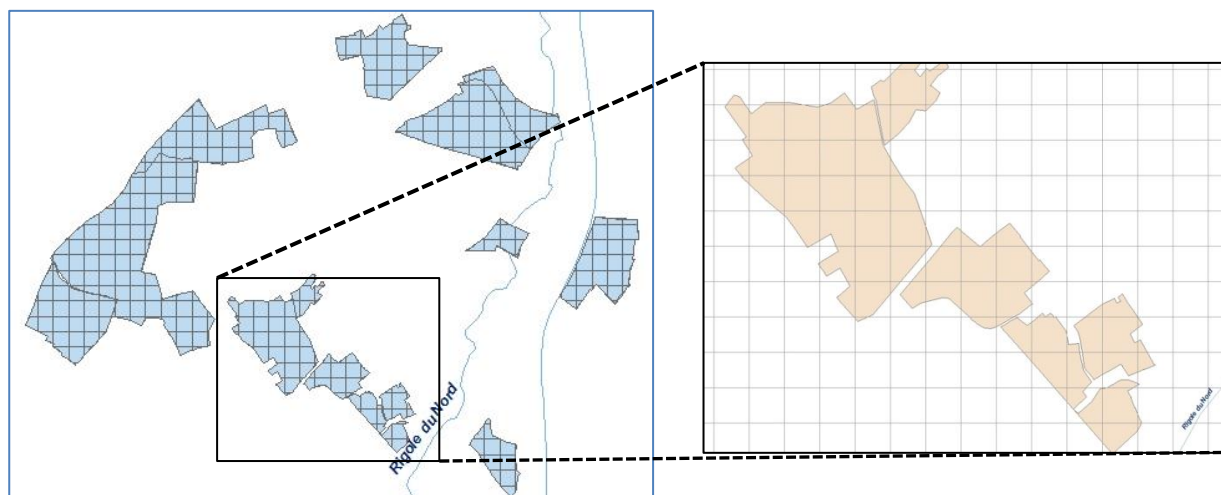


Figure 12 : Redécoupage des polygones selon les mailles du modèle.

Prise en compte des taux d'imperméabilisation

Par construction, dans les mailles du modèle la recharge est soit présente, soit absente. La prise en compte des taux d'imperméabilisation doit donc se faire de manière indirecte en adaptant les surfaces imperméabilisées :

- pour un taux d'imperméabilisation de 100%, la somme des surfaces imperméables à prendre en compte dans le modèle correspond au cumul des superficies associées aux extensions potentielles des projets d'urbanisation,
- pour un taux d'imperméabilisation de 80%, la somme des surfaces imperméables à l'intérieur du modèle ne doit couvrir que 80% du cumul des superficies à urbaniser.

Pour représenter les surfaces imperméabilisées dans le modèle, il convient donc de réduire le nombre de mailles imperméables en fonction du taux d'imperméabilisation. Le critère de sélection utilisé est le rapport entre la surface d'une maille couverte par une zone à urbaniser et la surface totale de la maille. Si la surface à urbaniser est supérieure au critère de sélection, alors la maille est sélectionnée. La superficie totale des surfaces imperméabilisées est égale au nombre de mailles imperméables multiplié par la superficie des mailles (soit 25 ha pour le maillage principal et 1 ha pour le maillage affiné).

Le traitement a été réalisé selon le même principe mais de manière indépendante dans le maillage principal et dans le maillage affiné.

Dans le maillage affiné, afin de pouvoir représenter les superficies réelles des polygones de la base de données des extensions potentielles, le critère de sélection retenu est de 0.44 ha pour un taux d'imperméabilisation de 100% et 0.64 ha pour un taux de 80% (Tableau 5).

Tableau 5 : Mode de calcul des surfaces (en ha) des parcelles à imperméabiliser et des nombres de mailles imperméabilisées dans chacun des scénarios d'urbanisation.

Maillage	Superficie totale des parcelles de la BD ADULM (S_{ADULM})	Taux d'imperméabilisation (t)	Superficie à imperméabiliser ($t \times S_{ADULM}$)	Critère *	Surface d'une maille (s)	Nombre de mailles imperméabilisées (N)	Superficie totale imperméabilisées ($s \times N$)
Scénario 100% d'imperméabilisation							
affiné	2 940	100%	2 940	0.44	1	2 940	2 940
principal	1 151	100%	1 151	7.5	25	46	1 150
total	4 090		4 090	-	-	2 986	4 090
Scénario 80% d'imperméabilisation							
affiné	2 940	80%	2 352	0.64	1	2 360	2 360
principal	1 151	80%	920	8.3	25	37	925
total	4 090		3 272	-	-	2 397	3 285

* : une maille du modèle est imperméabilisée si elle couvre une superficie à urbaniser de la BD ADULM supérieure au critère (en ha).

Représentation graphique

Les Figure 13 et Figure 14 page suivante, présentent les illustrations graphiques des surfaces imperméabilisées dans le modèle pour un taux d'imperméabilisation de 100% (dans le maillage affiné et dans le maillage principal) sur la base des polygones de la base de données des extensions potentielles à urbaniser. On constate que les sites de très petites dimensions ne sont pas pris en compte dans le modèle, notamment dans le maillage principal. Le différentiel de superficie est régulé par la prise en compte d'autres sites plus denses.

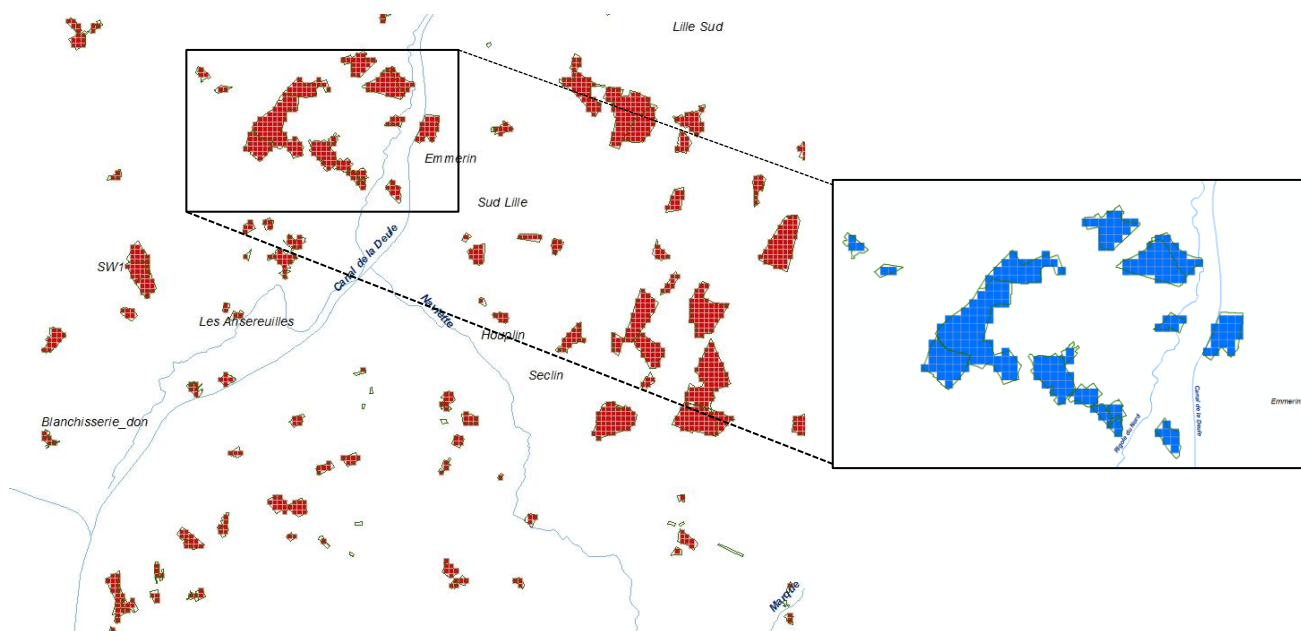


Figure 13 : Sélection des mailles concernées par un taux d'imperméabilisation de 100% dans la zone affinée (avec un zoom à l'Ouest du champ captant d'Emmerin).

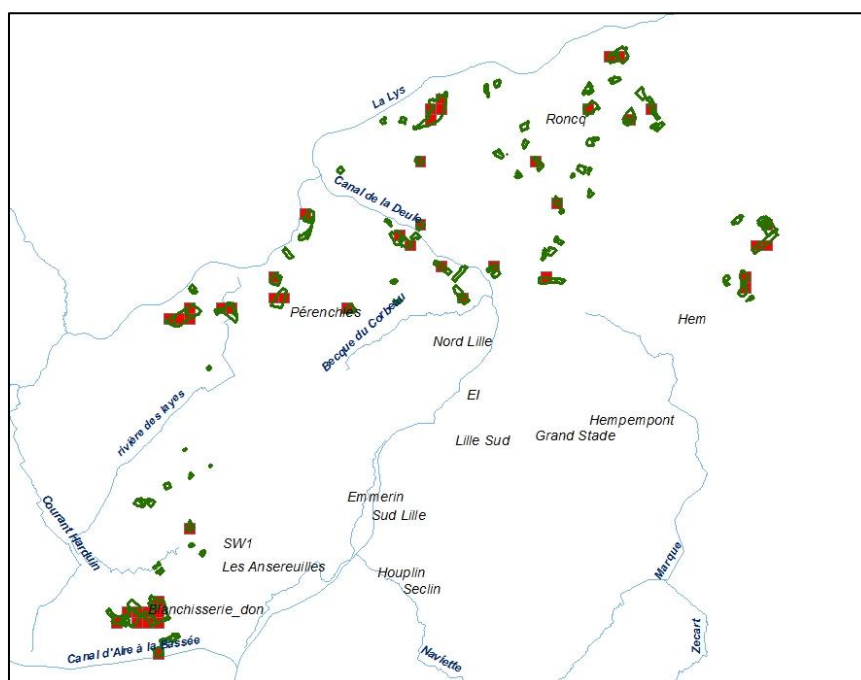


Figure 14 : Sélection des mailles concernées par les zones à urbaniser hors de la zone affinée.

La différence de taux d'imperméabilisation (80% et 100%) joue sur l'intégration ou non des mailles en bordure des polygones délimitant les zones à urbaniser. Pour un taux d'imperméabilisation de 80%, les mailles qui apparaissent en bleu sur la Figure 15 reçoivent une recharge, alors qu'elles sont considérées comme imperméables avec un taux d'imperméabilisation de 100%. Ces hypothèses de représentation semblent assez réalistes car les périphéries des zones urbanisées correspondent fréquemment à des espaces verts.

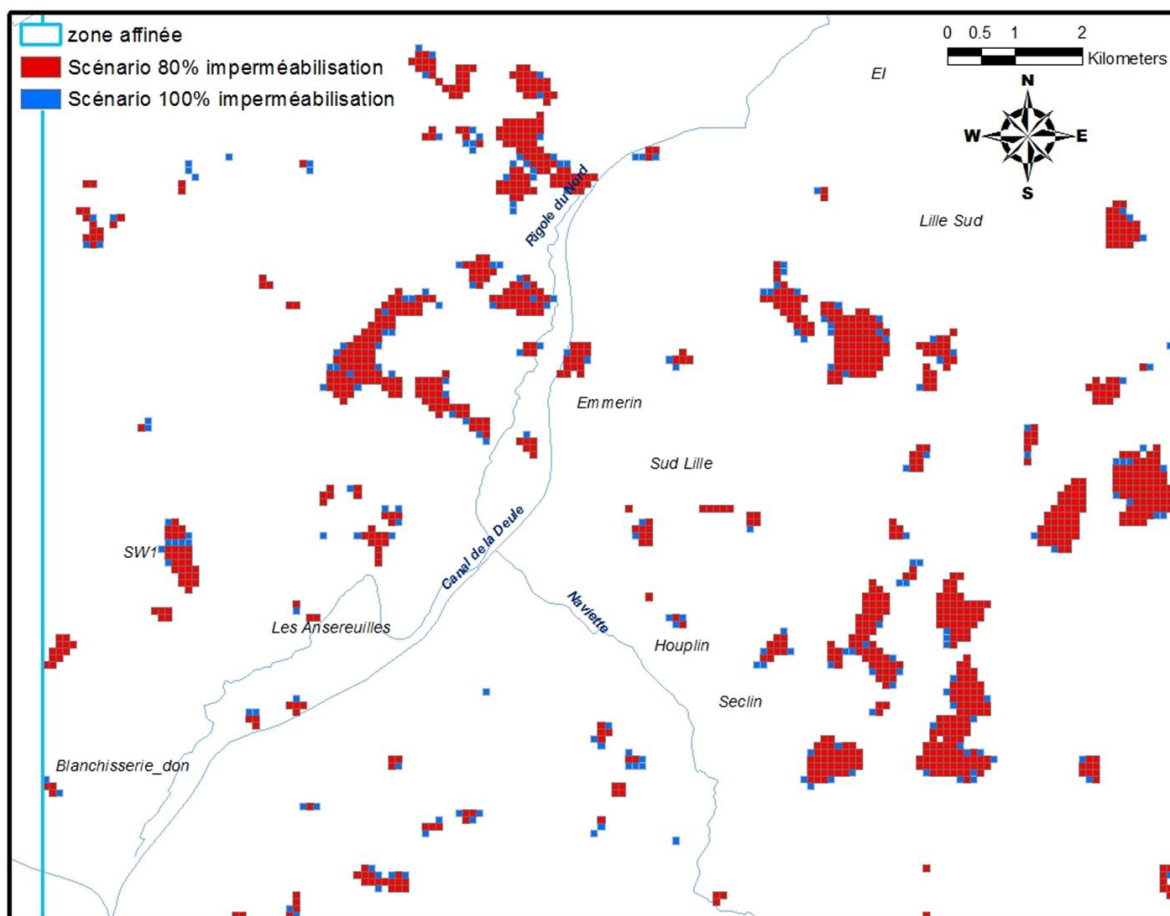


Figure 15 : Représentation graphique des scénarios d'imperméabilisation dans le maillage du modèle.

4.2. RESULTATS

Pour chacun des scénarios définis, les simulations permettent de calculer trois types de sortie :

- les lignes d'écoulement aboutissant aux forages permettent de délimiter les Aires d'alimentation des captages ;
- les chroniques piézométriques en différents points du territoire permettent d'évaluer les impacts piézométriques des différents scénarios simulés ;
- les bilans hydrodynamiques sectoriels permettent d'évaluer les flux d'eaux échangés entre les différents compartiments du système aquifère.

Dans les paragraphes suivants, chaque type de sortie est analysé en comparant les résultats des trois scénarios.

4.2.1. Les lignes d'écoulement

Pour chacun des scénarios, des calculs de trajectoires « inverses » (à contre-courant) originaires des forages d'alimentation en eau potable sont réalisés pour l'état piézométrique calculé par le modèle en fin de simulation. Les trajectoires simulées sont reportées sur les

Figure 16 et Figure 17. On constate que, visuellement, les trajectoires inverses varient peu selon les scénarios, ce qui montre que l'imperméabilisation induite par les nouvelles zones urbanisées ne modifie qu'à la marge (taille, forme, ...) le bassin d'alimentation des différents champs captants.

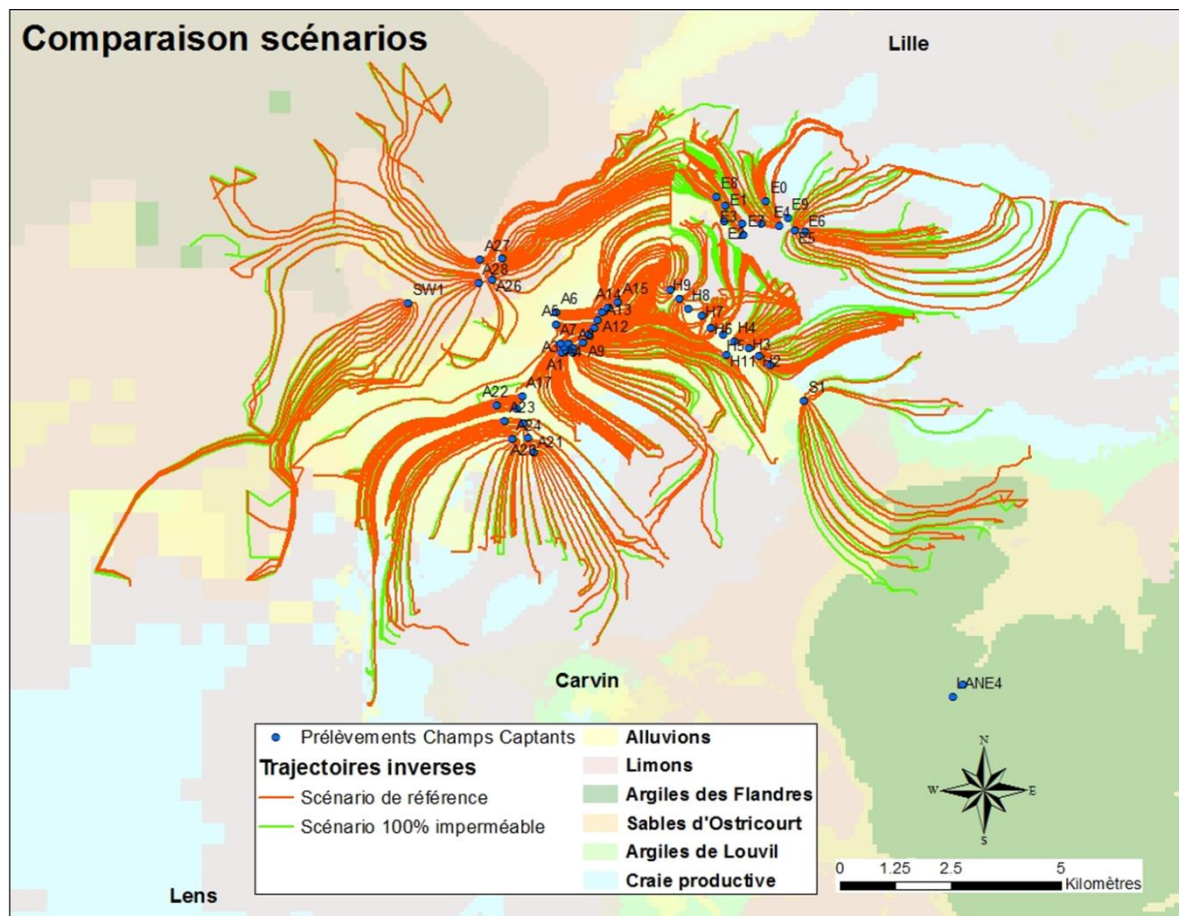


Figure 16 : Comparaison des trajectoires inverses originaires des forages pour le scénario de référence et pour le scénario d'urbanisation avec 100% d'imperméabilisation.

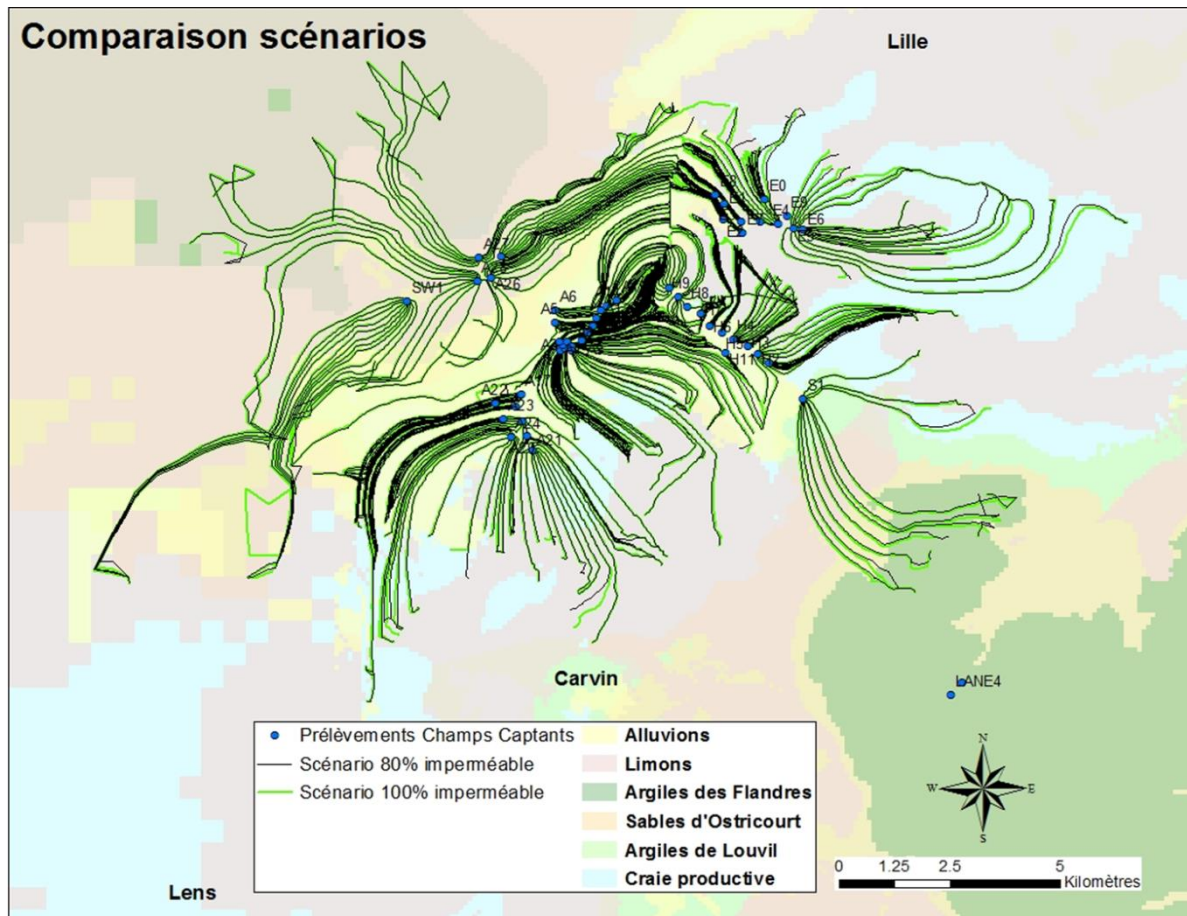


Figure 17 : Comparaison des trajectoires inverses originales des forages pour les scénarios d'urbanisation à 80% et 100% d'imperméabilisation.

4.2.2. Les chroniques piézométriques

Les chroniques piézométriques permettent de suivre l'évolution temporelle du niveau de la nappe de la Craie en différents points du territoire, ce qui fournit un indicateur visuel de la ressource en eau disponible. Pour chaque scénario, le modèle calcule les chroniques piézométriques en différents points de la nappe de la Craie (Figure 18) :

- aux forages ;
- aux piézomètres ayant servi au calage du modèle de Bessière et al. (2015) ;
- en quelques points choisis au droit des grandes zones imperméabilisées, là où un impact significatif est attendu en termes de baisse du niveau piézométrique.

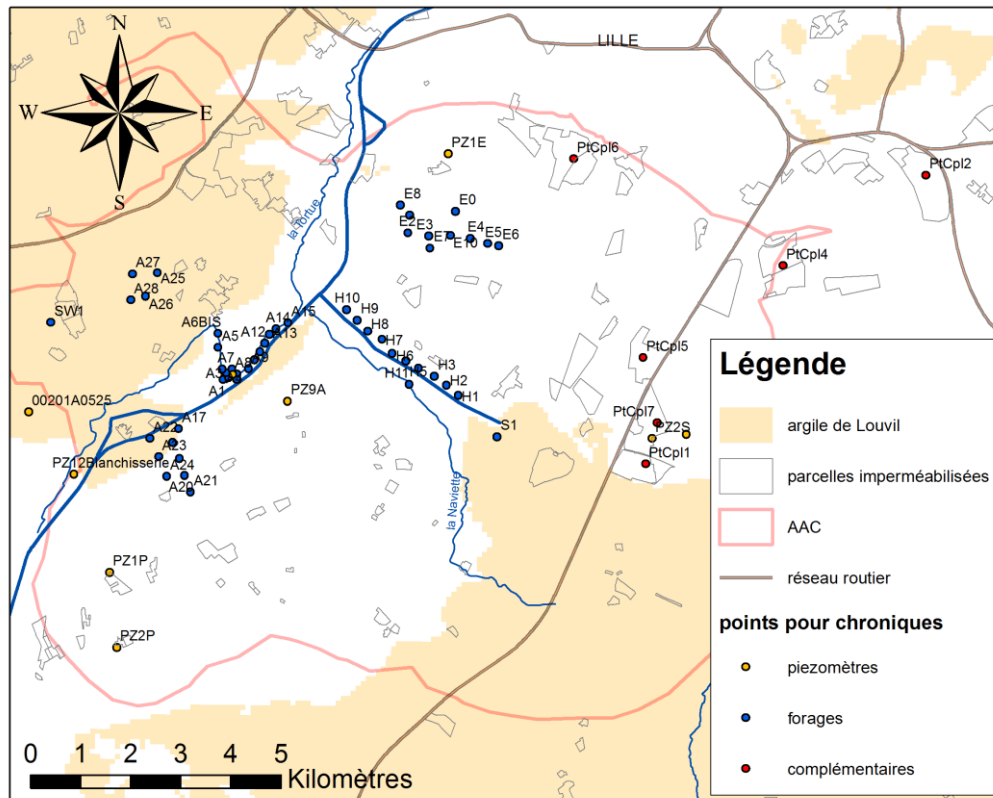


Figure 18 : Points où une chronique piézométrique est demandée en sortie de modèle.

Les chroniques piézométriques des scénarios d'urbanisation sont comparées à celles du scénario de référence. A titre d'exemple, les chroniques piézométriques simulées au forage H1 sont présentées à la Figure 19. Toutes les chroniques simulées sont regroupées en annexe 1. L'analyse de ces chroniques montre qu'en chaque point les évolutions piézométriques simulées pour les différents scénarios suivent globalement les mêmes tendances, avec des niveaux piézométriques systématiquement inférieurs pour les scénarios d'urbanisation. Sauf au droit des grandes zones imperméabilisées, les baisses piézométriques induites par l'urbanisation restent modestes comparées aux variations saisonnières.

Afin d'analyser plus finement l'impact de l'imperméabilisation des sols sur les niveaux de nappe, les chroniques des écarts piézométriques par rapport au scénario de référence sont calculées en chaque point de suivi et pour chaque scénario d'urbanisation. Ces chroniques d'écart sont reportées sur la Figure 20 pour le forage H1. L'ensemble des chroniques d'écart piézométrique est joint en annexe 1. Dans tous les cas, l'évolution des écarts de piézométrie par rapport au scénario de référence peut être scindée en deux phases :

- une phase initiale d'augmentation de l'écart en valeur absolue, pendant les 5 à 10 premières années ;
- puis un écart relativement stable durant le reste de la simulation, avec de faibles variations associées aux évolutions saisonnières du niveau piézométrique.

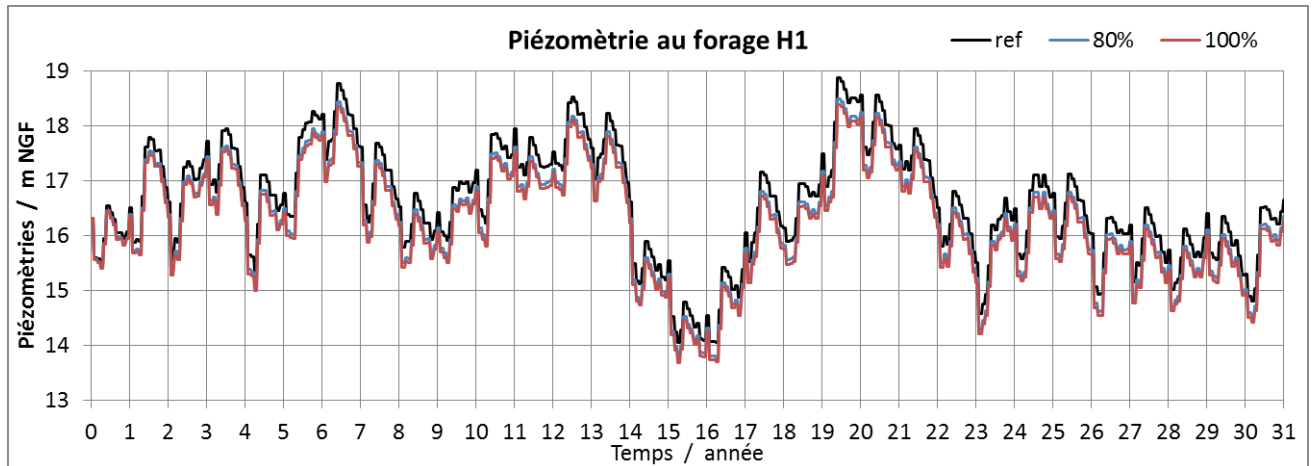


Figure 19 : Chroniques piézométriques au forage H1 pour le scénario de référence (ref) et les deux scénarios d'urbanisation (taux d'imperméabilisation de 100% et de 80%).

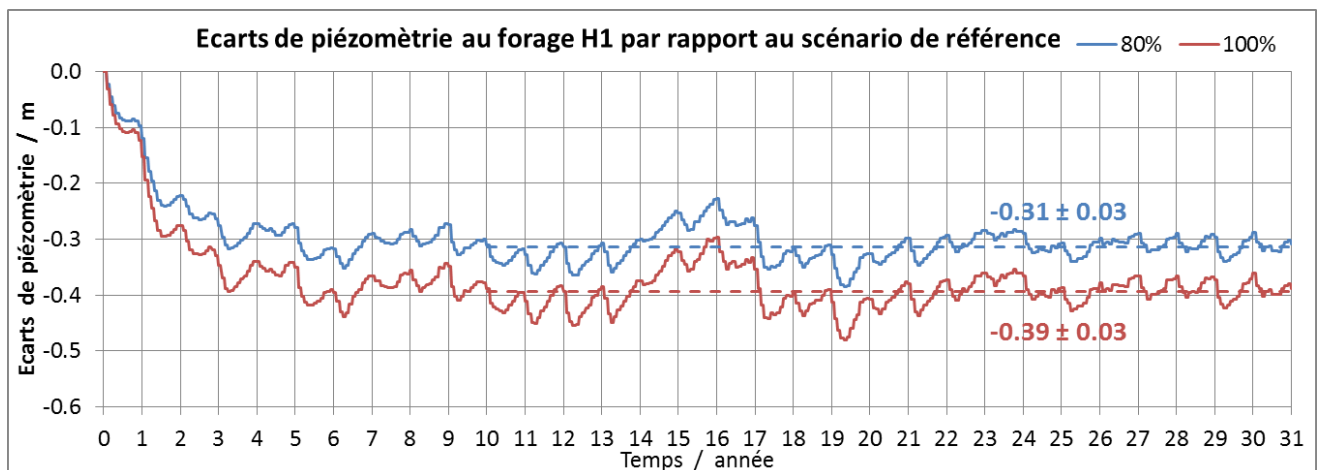


Figure 20 : Ecart entre la piézométrie du scénario de référence et les scénarios d'urbanisation (taux d'imperméabilisation de 100% et 80%) pour le forage H1.

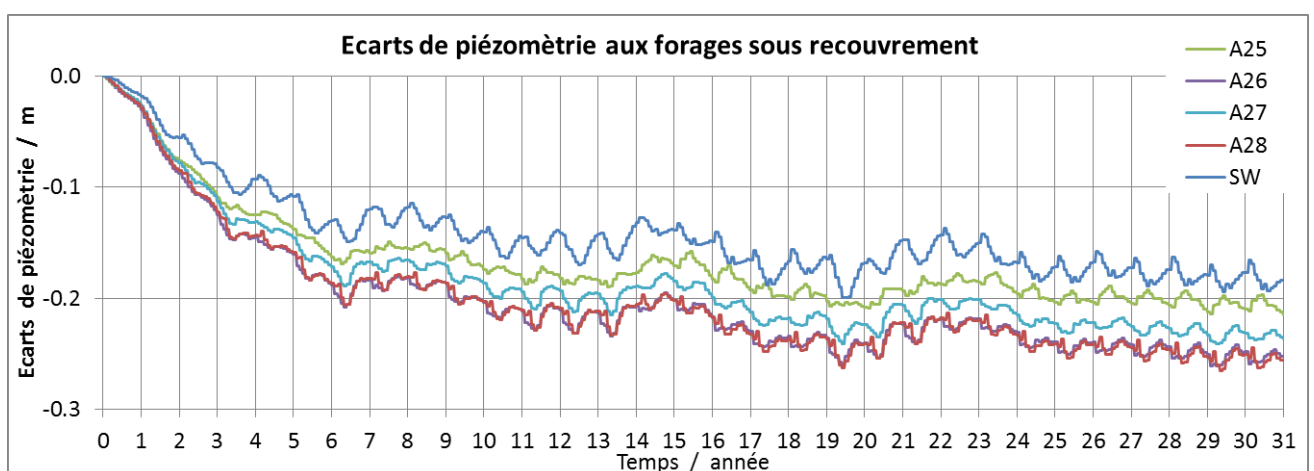


Figure 21 : Ecart de piézométrie entre le scénario d'urbanisation 100% et le scénario de référence pour les forages sous recouvrement tertiaire.

Les résultats du modèle semblent indiquer que les conséquences de l'imperméabilisation des sols ne seront pleinement observées que 5 à 10 ans après l'urbanisation. Ce temps de réaction semble encore allongé pour les forages sous recouvrement (forages de Sainghin-en-Weppes et de Wavrin) où la baisse générale des niveaux piézométriques semble toujours se poursuivre pendant la période 10-31 ans de simulation (Figure 21).

Afin d'analyser l'impact à long terme de l'imperméabilisation, l'écart avec le scénario de référence est quantifié dans la deuxième phase (moyenne et écart-type de l'écart sur la période 10-31 ans de simulation). Ces valeurs statistiques sont reportées sur la Figure 22 pour tous les points ayant fait l'objet d'un calcul de chronique piézométrique. L'imperméabilisation des sols dans le scénario 100% provoque une diminution de la piézométrie allant d'environ 10 cm au droit du champ captant d'Emmerin (minimum observé au forage E2) à environ 2 m sous les grandes zones imperméabilisées (maximum observé au point complémentaire 6).

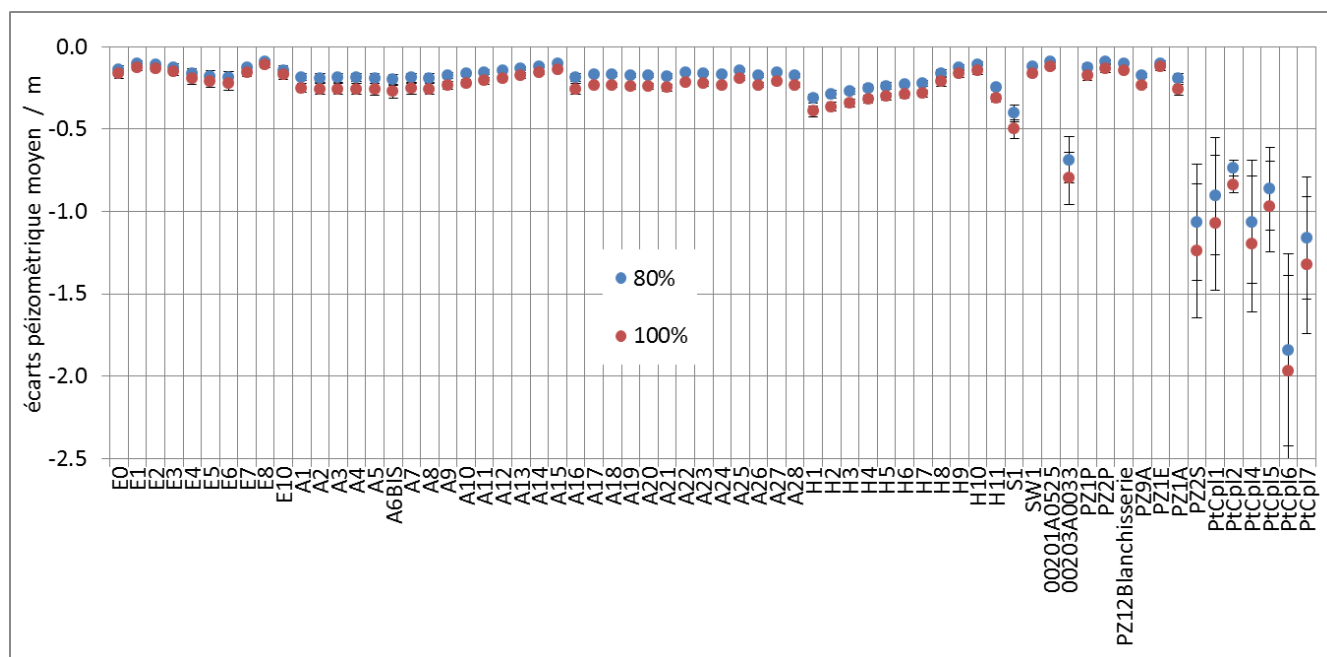


Figure 22 : Ecarts piézométriques (moyenne sur la période de simulation 10-31 ans) entre les scénarios d'urbanisation (80% ou 100% d'imperméabilisation) et le scénario de référence pour chacun des points.

4.2.3. Les bilans hydrodynamiques

La modélisation permet de calculer à chaque pas de temps, dans une zone définie par l'utilisateur, les volumes d'eau échangés entre les couches du modèle et au travers de la frontière de cette zone. Afin de construire un bilan hydrodynamique de la zone représentatif de l'impact à long terme de l'imperméabilisation du sol, les flux par pas de temps sont moyennés sur la période de simulation 10-31 ans.

Un bilan hydrodynamique est calculé pour chacun des champs captants et pour l'ensemble de l'Aire d'Alimentation des Captages. Ainsi, plusieurs zones de bilan sont définies :

- Les zones de bilan par champ captant sont définies en s'inspirant de la délimitation des périmètres de protection rapprochés. Afin de faciliter l'analyse, on a veillé à distribuer les différents tronçons de rivière dans chacune des zones (Figure 23).
- De plus, une large zone de bilan est définie pour l'ensemble de l'AAC. Cette zone a été définie de façon à minimiser les échanges par les frontières extérieures (Figure 24).

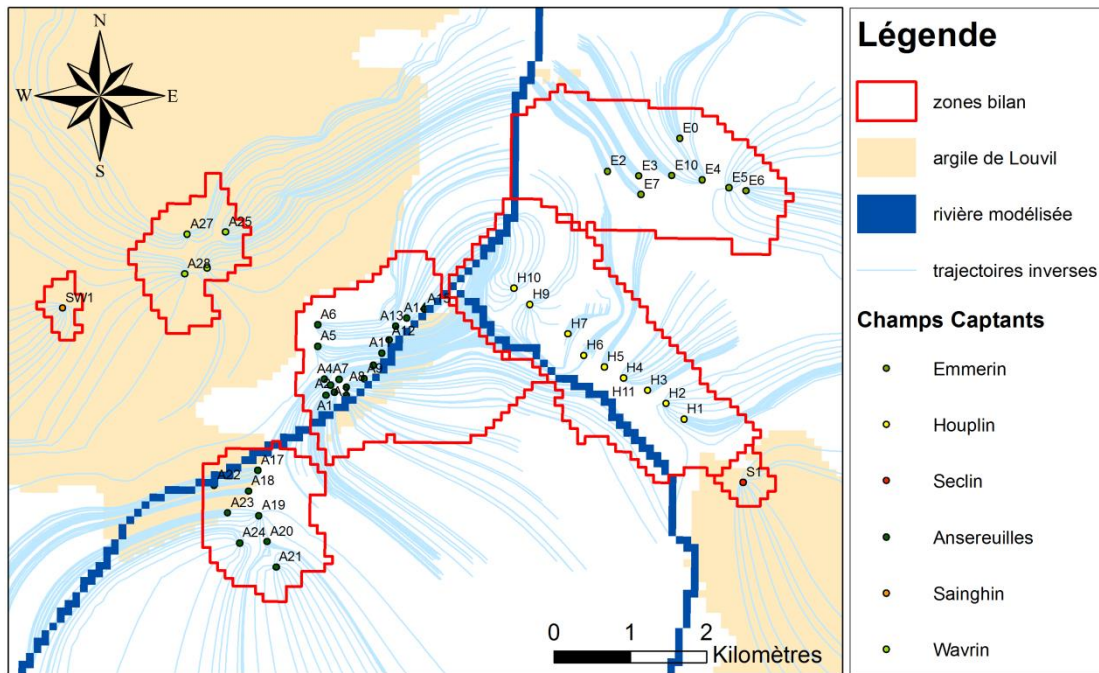


Figure 23 : Délimitation des zones de bilan par champs captants, guidée par les contours des périmètres de protection rapprochés.

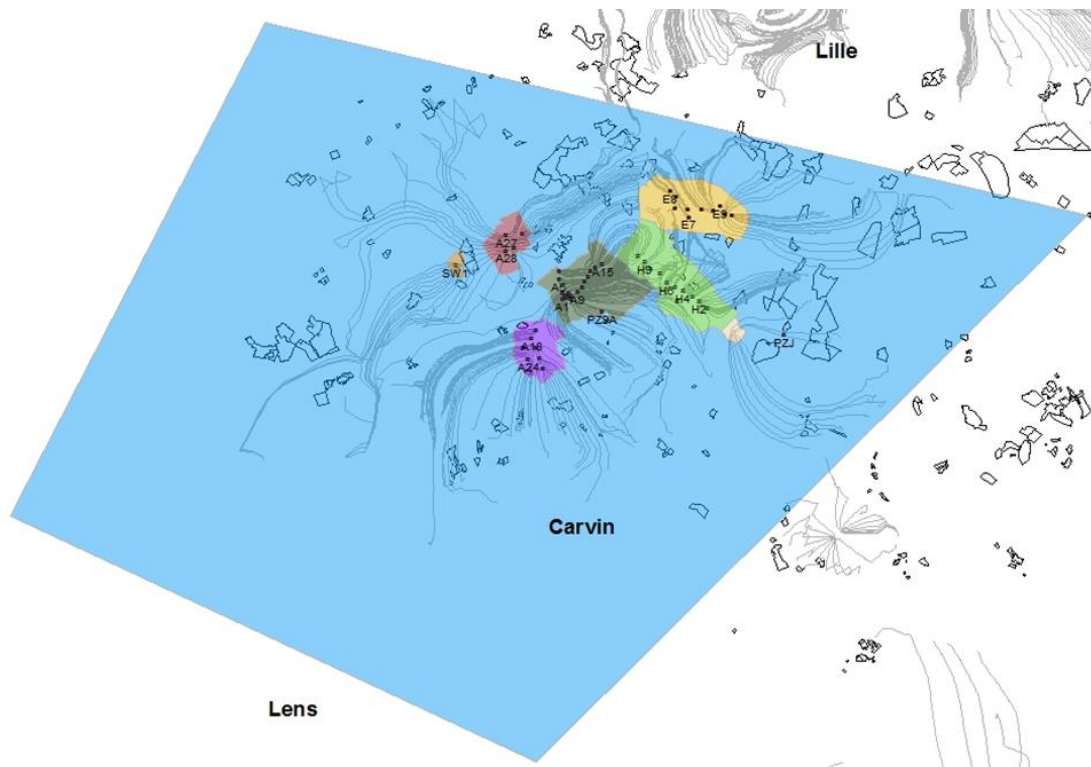


Figure 24 : Délimitation des zones où le modèle calcule un bilan hydrodynamique pour chacun des scénarios.

L'analyse s'est concentrée sur la comparaison entre le scénario 100% et le scénario de référence. Le scénario 80% se situe entre les deux.

Zone globale

Le bilan hydrodynamique de la zone globale est présenté à la Figure 25. Dans la zone globale, les variations observées entre les deux scénarios sont très faibles du fait de la grande taille de cette zone. La quantification de ces variations n'est pas pertinente car elle se situe dans la marge d'erreur du modèle. Néanmoins, des tendances sont identifiées. Ainsi, l'imperméabilisation des sols conduit à une diminution de la recharge, une augmentation des apports par les rivières, une diminution des débordements, et une augmentation des apports latéraux.

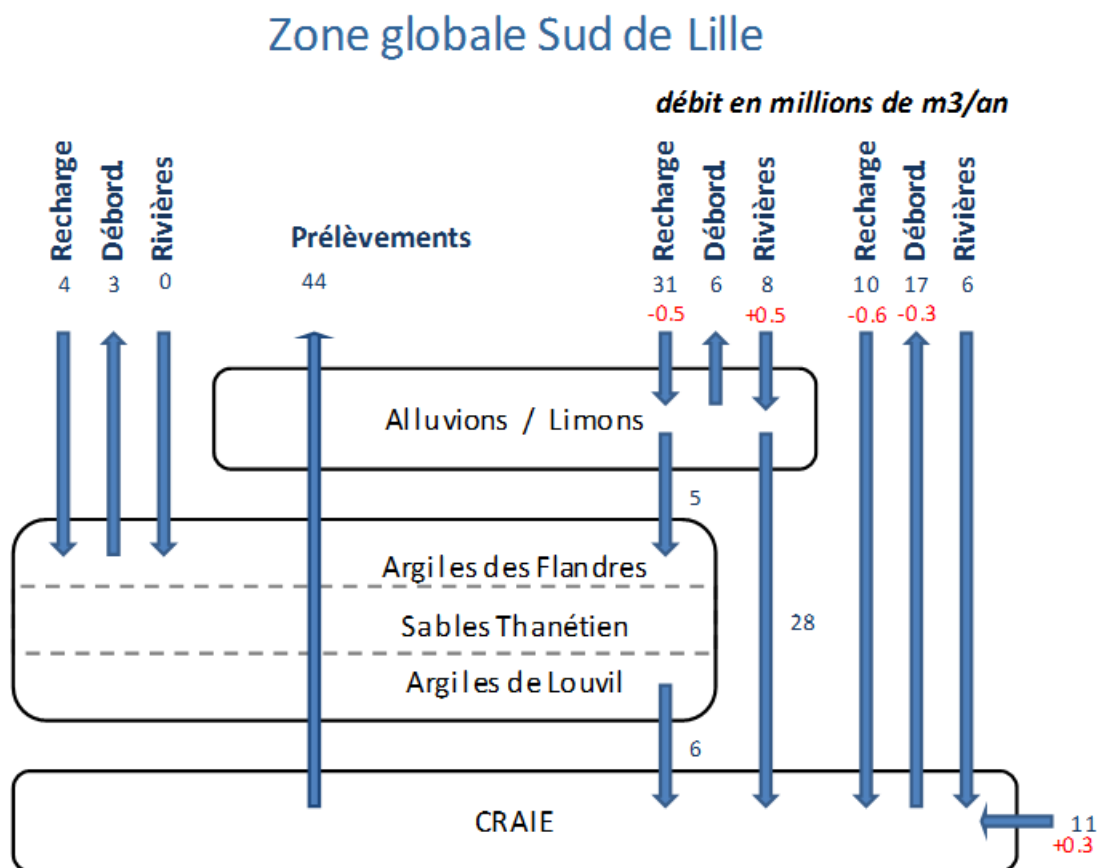


Figure 25 : Bilan hydrodynamique de la zone globale du Sud de Lille.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone d'Emmerin

Le bilan hydrodynamique de la zone d'Emmerin est présenté à la Figure 26. Une faible diminution de la recharge est observée car il y a très peu de parcelles imperméabilisées dans la zone elle-même (qui correspond au périmètre de protection rapproché).

En revanche, l'imperméabilisation des sols autour de la zone d'Emmerin conduit à une baisse des apports latéraux de la nappe de la Craie. Cette diminution des apports latéraux est compensée par une infiltration d'eau plus importante venant des couches sus-jacentes (alluvions ou limons), elle-même venant d'une augmentation des apports par les rivières (augmentation de 130 000 m³/an par rapport au 900 000 m³/an du scénario de référence, soit environ 14% d'augmentation). Cette augmentation est importante compte tenu de la taille du tronçon de rivière (Canal de la Deûle) inclus dans la zone d'Emmerin (Figure 23).

On notera également une diminution des débordements qui fait peser le risque d'un potentiel assèchement de la zone humide.

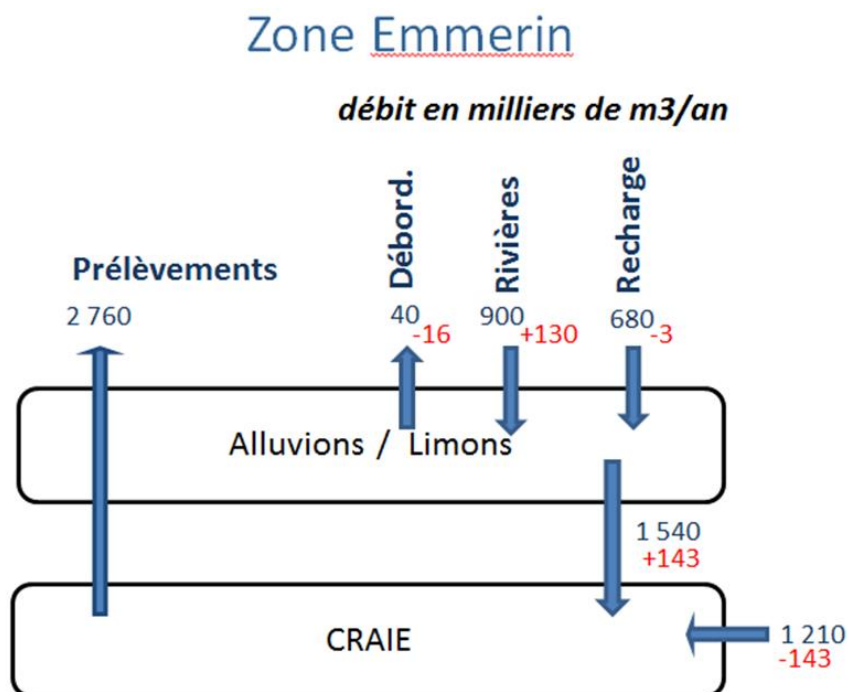


Figure 26 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant d'Emmerin.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone d'Houplin-Ancoisne

Le bilan hydrodynamique de la zone du champ captant de Houplin-Ancoisne est présenté à la Figure 27. Ce bilan est caractérisé par un flux d'eau important arrivant à la Craie depuis les rivières, via les couches sus-jacentes. Cette part est à relativiser par rapport à la longueur des tronçons des rivières (canal de la Deûle et Naviette) inclus dans la zone (Figure 23). De plus, les trajectoires inverses montrent qu'une partie importante du flux d'eau est exportée latéralement vers les champs captants des Ansereuilles (Figure 23).

Dans les scénarios d'urbanisation, l'imperméabilisation des sols cause une baisse de la recharge et une augmentation des apports par les rivières. La baisse de la recharge était attendue du fait de la présence de secteurs imperméabilisés au sein de cette zone de bilan. L'apport supplémentaire par les rivières est essentiellement exporté vers l'extérieur de cette zone, en particulier vers le champ captant des Ansereuilles.

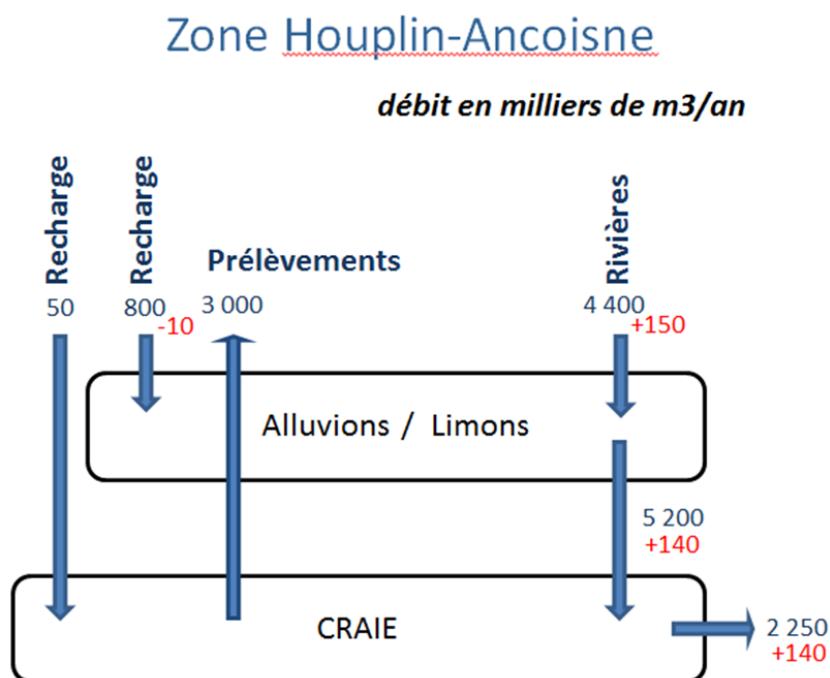


Figure 27 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant d'Houplin-Ancoisne.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone Ansereuilles Nord

Le bilan hydrodynamique de la zone des Ansereuilles Nord est présenté à la Figure 28. L'essentiel des apports d'eau à la Craie provient des venues latérales. En particulier, les apports latéraux depuis la zone d'Houplin-Ancoisne peuvent être évalués en comparant les apports latéraux de la zone des Ansereuilles Nord aux exports latéraux de la zone d'Houplin-Ancoisne (Figure 27). Les trajectoires inverses (Figure 23) montrent qu'une bonne part de ces apports latéraux provient d'apports par les rivières. Au sein de la zone même, les apports par les rivières et par la recharge pluviale sont équivalents.

Dans les scénarios d'urbanisation, l'imperméabilisation des sols cause dans cette zone une légère diminution des apports verticaux, contrebalancée par une augmentation des apports latéraux.

Zone Ansereuilles Nord

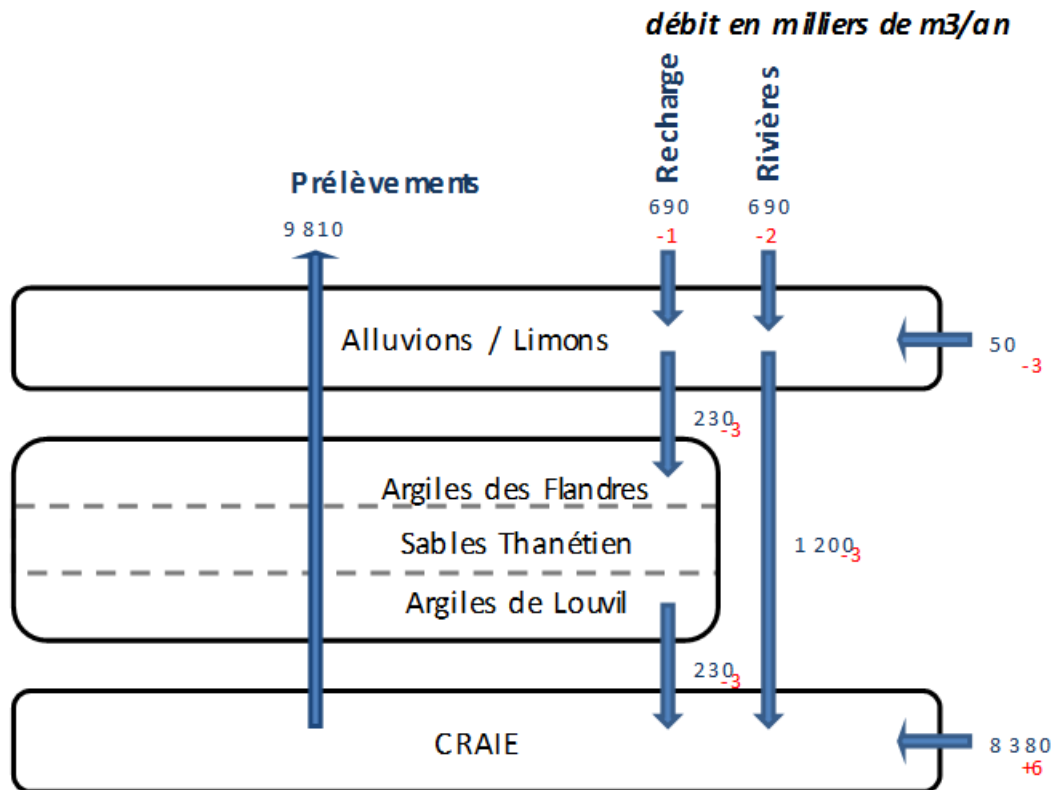


Figure 28 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant des Ansereuilles Nord.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zones Sainghin-en-Weppes et Wavrin

Les bilans hydrodynamiques sur les zones des forages de Sainghin-en-Weppes et Wavrin ne permettent pas de détecter l'impact de l'imperméabilisation du sol. Les variations de débit observées entre le scénario de référence et le scénario d'urbanisation à 100% sont inférieures aux incertitudes du modèle. Ces forages sont implantés dans la craie sous recouvrement tertiaire, et reçoivent essentiellement des eaux venant de la Craie à travers la bordure de la zone. Cette situation reste inchangée dans les scénarios d'urbanisation. A noter toutefois que les écarts de piézométrie entre scénarios continuent à augmenter après 31 ans de simulation (Figure 21). Ainsi, les bilans hydrodynamiques des scénarios d'urbanisation (moyenne sur 10-31 ans de simulation) ne correspondent pas parfaitement à l'impact à long terme de l'imperméabilisation des sols.

Zone Sainghin-en-Weppes

débit en milliers de m³/an

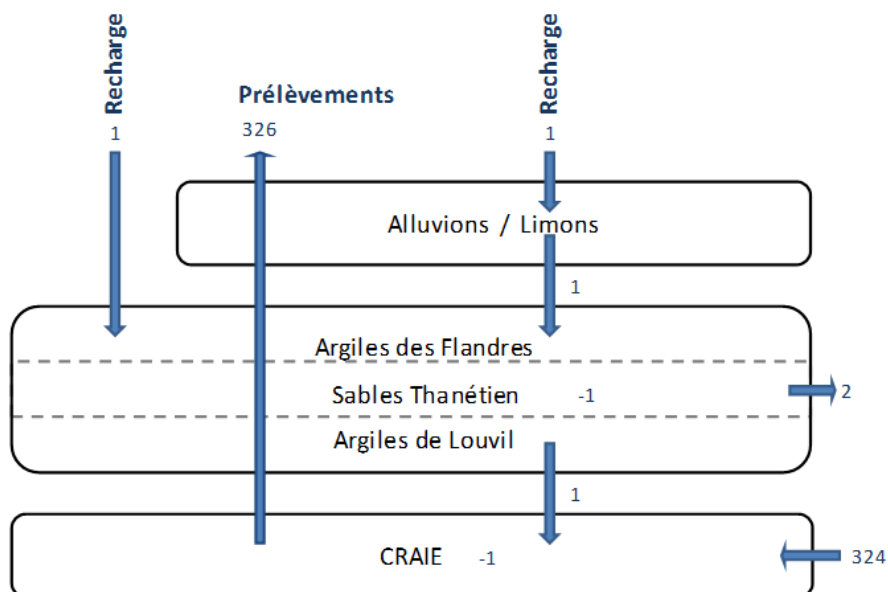


Figure 29 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant de Sainghin-en-Weppes. En bleu, scénario de référence ; aucun écart simulé pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone Wavrin

débit en milliers de m³/an

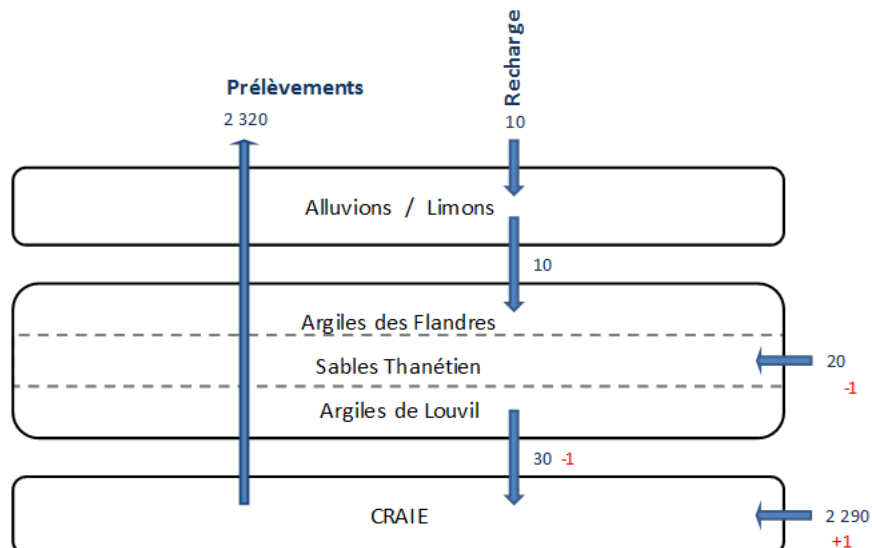


Figure 30 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant de Wavrin. En bleu, pour le scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone Seclin

Le bilan hydrodynamique sur la zone du forage de Seclin ne permet pas de détecter l'impact de l'imperméabilisation du sol. Les variations de débit observées entre le scénario de référence et le scénario d'urbanisation à 100% sont inférieures aux incertitudes du modèle. Ce forage est en bordure d'extension des argiles de Louvil et, d'après les trajectoires (Figure 23), reçoit essentiellement des eaux venant de la zone de recouvrement tertiaire. Ainsi, après la baisse piézométrique d'environ 50 cm modélisée en début de simulation, le système se stabilise avec un bilan hydrodynamique très proche de la situation initiale, c'est-à-dire avec l'essentiel des eaux provenant de la zone de recouvrement tertiaire.

Zone Seclin

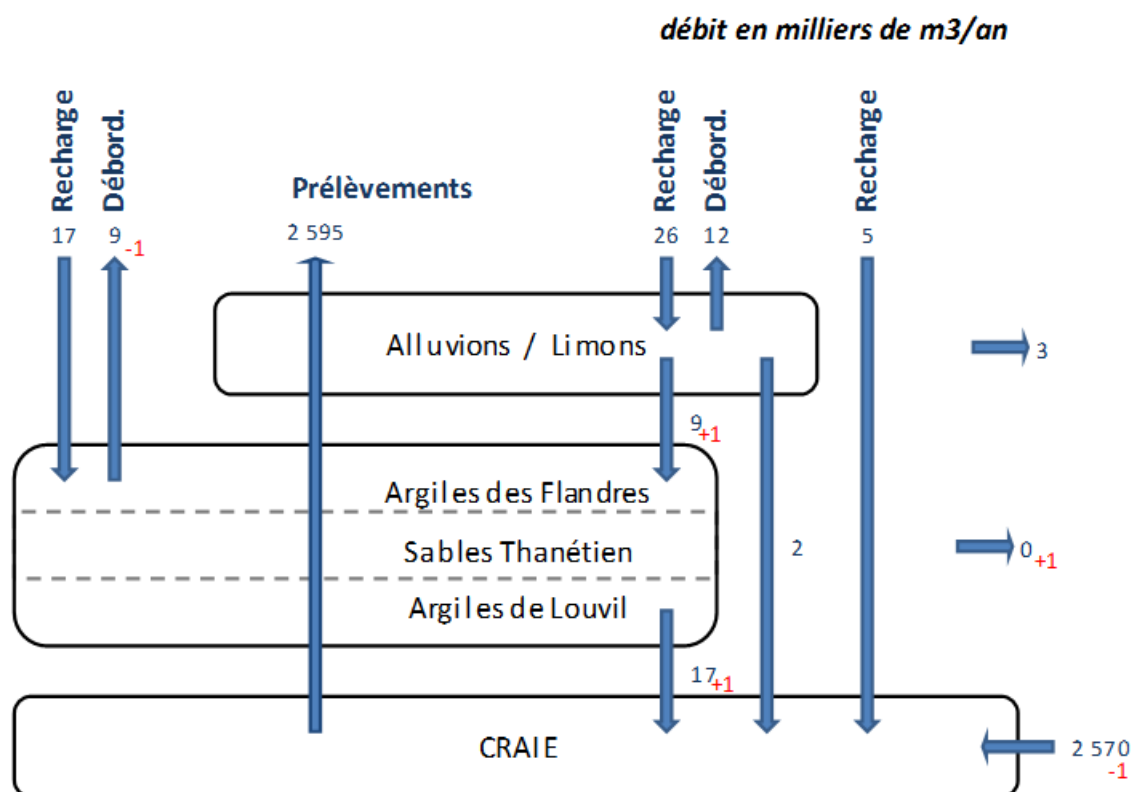


Figure 31 : Bilan hydrodynamique de la zone de Seclin.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

Zone Ansereuilles Sud

Le bilan hydrodynamique de la zone des Anseaeilles Sud est présenté à la Figure 32. L'essentiel des apports d'eau à la Craie est issu des transferts latéraux. Les trajectoires inverses (Figure 23) montrent qu'une bonne part de ces apports latéraux provient à l'origine d'apports par les rivières. Au sein de la zone même, les apports par la recharge pluviale, et dans une moindre mesure par les rivières, contribuent également aux arrivées d'eau à la Craie, via les couches sus-jacentes.

Dans les scénarios d'urbanisation, l'imperméabilisation des sols cause dans cette zone une diminution de la recharge pluviale, en partie contrebalancée par une augmentation des apports par les rivières. Les impacts sur la nappe de la Craie se traduisent par une diminution des apports verticaux et une augmentation des apports latéraux.

Zone Ansereuilles Sud

débit en milliers de m³/an

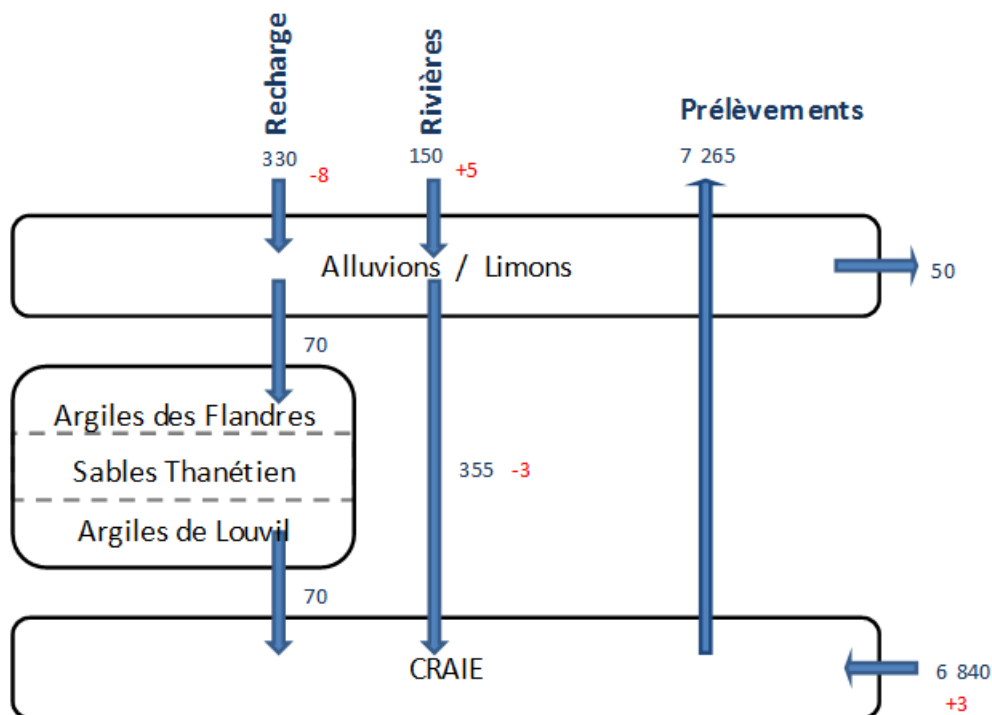


Figure 32 : Bilan hydrodynamique sur la zone du champ captant des Ansereuilles Sud.
En bleu, scénario de référence ; en rouge, écarts simulés pour le scénario d'urbanisation 100%.

4.3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'analyse des chroniques piézométriques montre que les conséquences de l'imperméabilisation des sols ne sont pleinement observées dans la nappe de la Craie qu'après environ 5 à 10 ans, voire plus pour les forages sous recouvrement tertiaire.

En tenant compte de l'ensemble des projets d'urbanisation projetés sur le territoire du SCOT jusqu'en 2035 (soit un scénario d'urbanisation de près de 1 000 ha dans l'AAC, scénario 100%), le modèle prévoit que l'imperméabilisation des sols conduit à long terme, au niveau des champs captant du Sud de Lille, à :

- une augmentation des apports d'eau par les rivières et canaux (jusqu'à +14% sur le champ captant d'Emmerin) ;
- une baisse du niveau d'eau dans la nappe de la Craie, d'environ 10 cm vers Emmerin jusqu'à environ 2 m au droit des grandes zones imperméabilisées ;
- peu d'impacts détectés sur les lignes d'écoulement et sur la superficie de l'aire d'alimentation des captages.

Si les baisses des niveaux d'eau peuvent paraître modestes au vu des variations saisonnières, ces évolutions prévisionnelles de la quantité d'eau au sein de la nappe sont susceptibles d'avoir des conséquences sur la qualité de l'eau de la nappe, et ce pour plusieurs raisons :

- du fait de la mauvaise qualité des eaux et sédiments des rivières et canaux (et du canal de la Deûle en particulier), une augmentation des apports par les cours d'eau devrait mécaniquement diminuer la qualité de l'eau pompée dans la nappe ;
- lorsque la nappe est quasi-affleurante (par exemple à la platière d'Emmerin), une baisse, même faible, du niveau d'eau peut impacter la fonction épuratoire de la zone humide associée, voire menacer l'existence de cette dernière ;
- Lorsque le niveau de la nappe est proche d'une interface géologique type Craie-Argile, une évolution de ce niveau peut modifier le comportement géochimique de substances indésirables (Cary et Parmentier, 2014).

Si l'eau brute prélevée dans la nappe ne répond plus aux critères de qualité (définis à l'arrêté du 11 janvier 2007), elle ne pourra plus être utilisée pour la production d'eau potable.

5. Aspects qualitatifs

De nombreuses activités humaines (industrialisation, infrastructures de transport, gestion des eaux pluviales et des eaux usées, gestion des déchets, gestion des espaces verts, etc.) induisent des risques de contamination de la nappe par des pollutions diffuses ou accidentelles.

L'eau qui s'infiltre dans le sol traverse les différentes couches géologiques (Figure 33) puis transite au sein de la nappe de la Craie pour aboutir à l'un de ses exutoires, le plus important au Sud de Lille étant les pompages d'eau destinée à l'alimentation en eau potable. Cette eau qui s'infiltre peut être porteuse de substances potentiellement polluantes.

Nous nous attacherons dans ce chapitre à expliciter le cheminement parcouru par de telles substances depuis le sol jusqu'aux forages de prélèvement en eau potable; l'objectif étant ici essentiellement pédagogique.

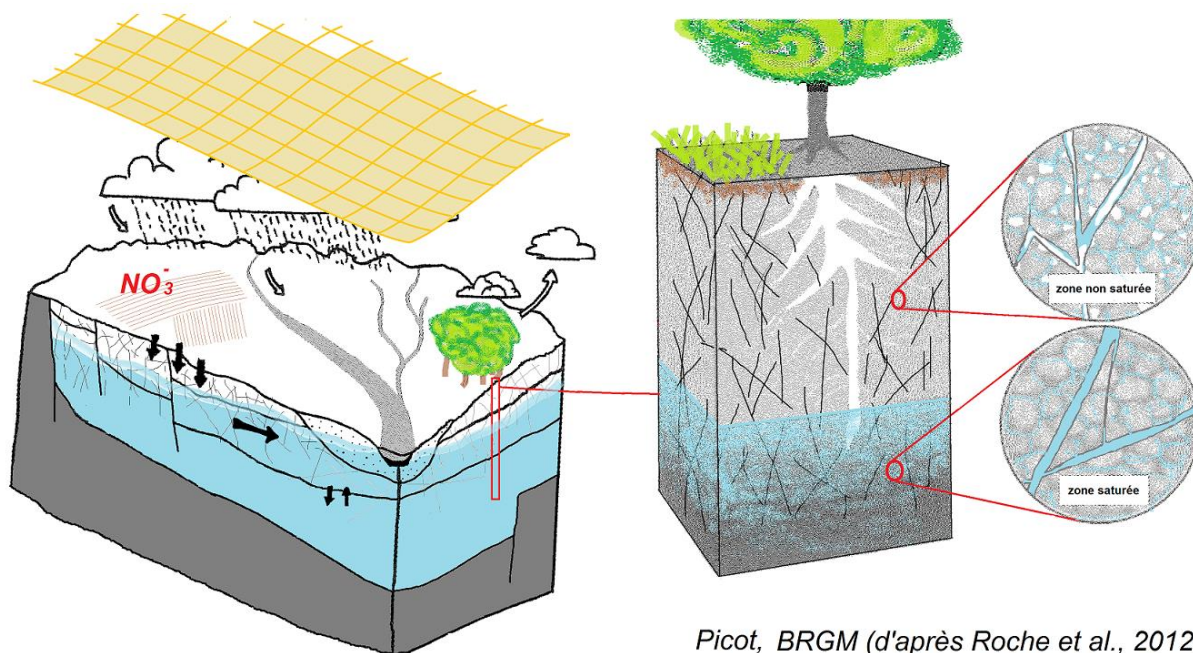


Figure 33 : Schéma représentant le transfert des molécules de nitrate depuis le sol jusqu'à l'aquifère

Le modèle hydrodynamique permet d'approcher le chemin parcouru par de telles substances au sein des différentes couches géologiques et d'estimer des temps de transfert. Il s'agit ici de réaliser des calculs de trajectoires directes.

Plusieurs trajectoires sont calculées afin de pouvoir représenter différentes situations géologiques, hydrodynamiques, géographiques, en les croisant avec diverses hypothèses de prélèvement dans les champs captants.

5.1. PREMIERS CALCULS

5.1.1. Méthodologie

Points de départ des trajectoires,

Quatre sites ont été sélectionnés lors du COTECH n°1 pour l'étude des trajectoires parmi les projets d'urbanisation recensés par l'ADULM : lotissements à Allennes, A1 Est Vendeville, A1 Ouest, AUD Proximité nouvelle gare REGL (Figure 34).

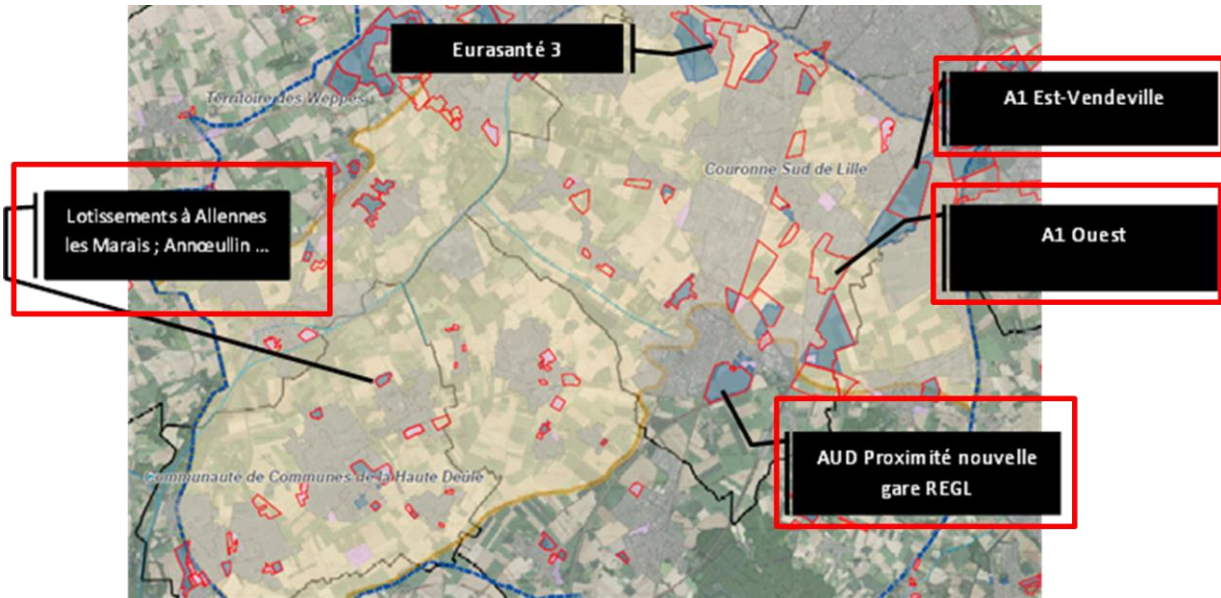


Figure 34 : Localisation des premiers sites pour le calcul des trajectoires

Les points de départ des trajectoires sont localisés sur les mailles situées en périphérie des sites, et chaque trajectoire démarre au centre de ces mailles renseignées en ligne, colonne et couche hydrogéologique au sein du modèle (carrés rouges sur la Figure 35). Les situations géologiques et réglementaires sont relativement contrastées (Tableau 6 : Description des sites de départ des trajectoires. Tableau 6 et Figure 35)

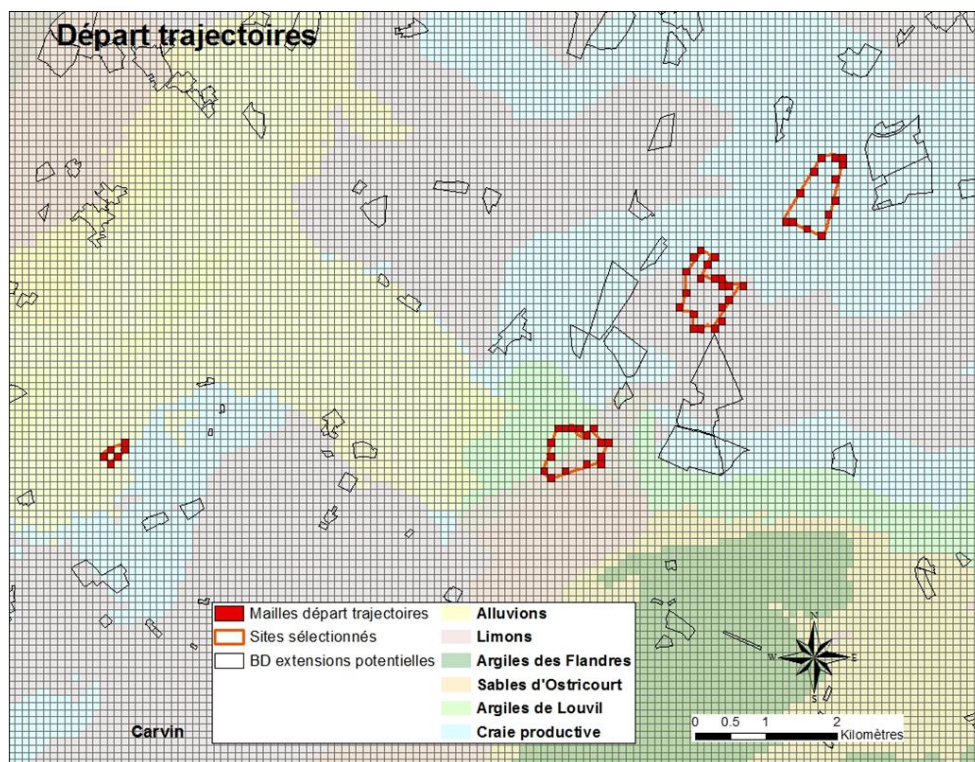


Figure 35 : Carte de localisation des mailles de départ des trajectoires et représentation des couches géologiques à l'affleurement (fond pastel)

Tableau 6 : Description des sites de départ des trajectoires.

nom	Type	Géologie	PIG
Lotissements Allennes-les-marais	Résidentiel	Alluvion/Craie	PIG S1
A1 Est	Economie	Craie	PIG S2
A1 Ouest	Economie	Limon/Craie	PIG S2
AUD Proximité nouv. gare REGL	mixte	Craie Limon/Craie Limon/Sable/Argile/Craie	Hors PIG

Dates de départ de trajectoires

Deux dates de départ des trajectoires ont été choisies : la situation des basses eaux (BE) de l'année 1997 et celle des hautes eaux (HE) 2001 (Figure 36).

Les trajectoires démarrant l'année X sont calculées pas de temps par pas de temps et elles sont influencées par les évolutions de pluviométrie et de prélèvement simulées entre l'année X et l'année 2012 (date de fin de simulation). De ce fait, les trajectoires démarrant en basses eaux 1997 subissent les hautes eaux de 2001. Par ailleurs, chaque trajectoire est également influencée par les variations saisonnières de la piézométrie.

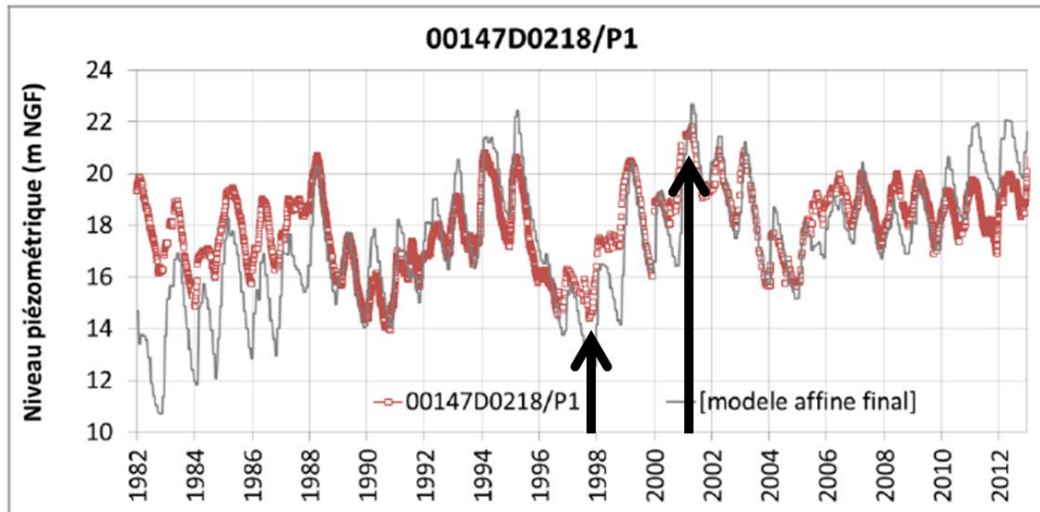


Figure 36 : Choix des dates de départ des trajectoires : BE 1997 et HE 2001.

Paramètres de calcul

Pour calculer les vitesses d'écoulement nécessaires au calcul des trajectoires, le modèle a besoin d'une valeur pour caractériser la porosité cinématique ε (Figure 37). Des expériences de traçage dans la Craie en Nord-Pas-de-Calais ont permis d'estimer ce paramètre ε entre 1 et 6 %. Cette valeur a été fixée à $\varepsilon = 2$ % dans notre modèle. Ceci implique qu'un temps de transfert simulé autour de 2 ans doit être interprété comme pouvant se situer entre 1 et 6 ans.

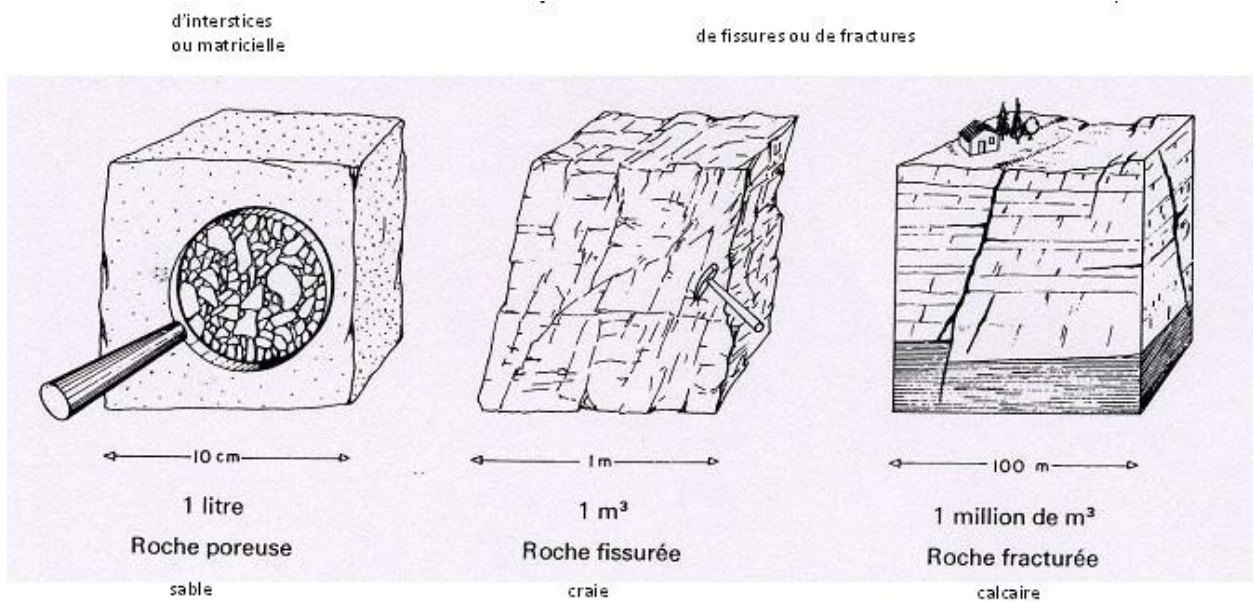
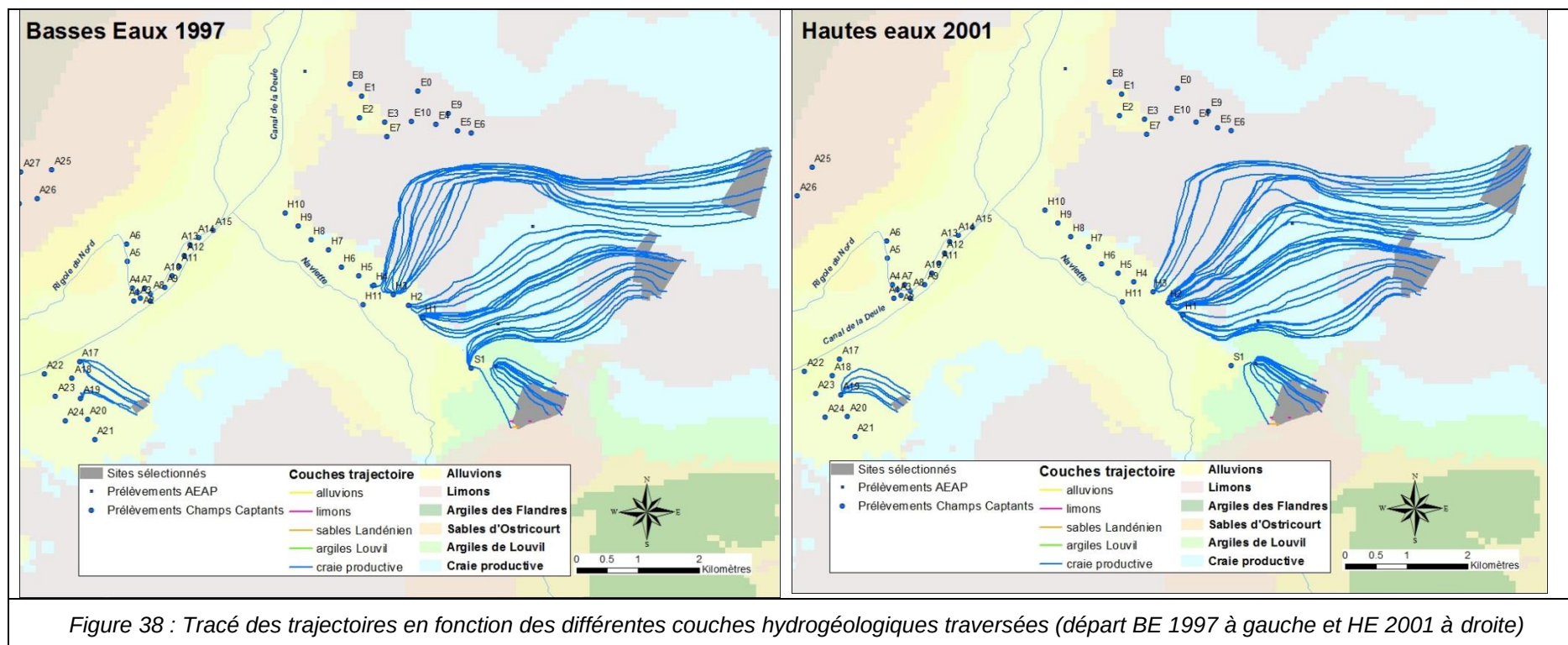


Figure 37 : Illustration de différentes porosités en fonction de la nature de la roche et de l'échelle d'observation.

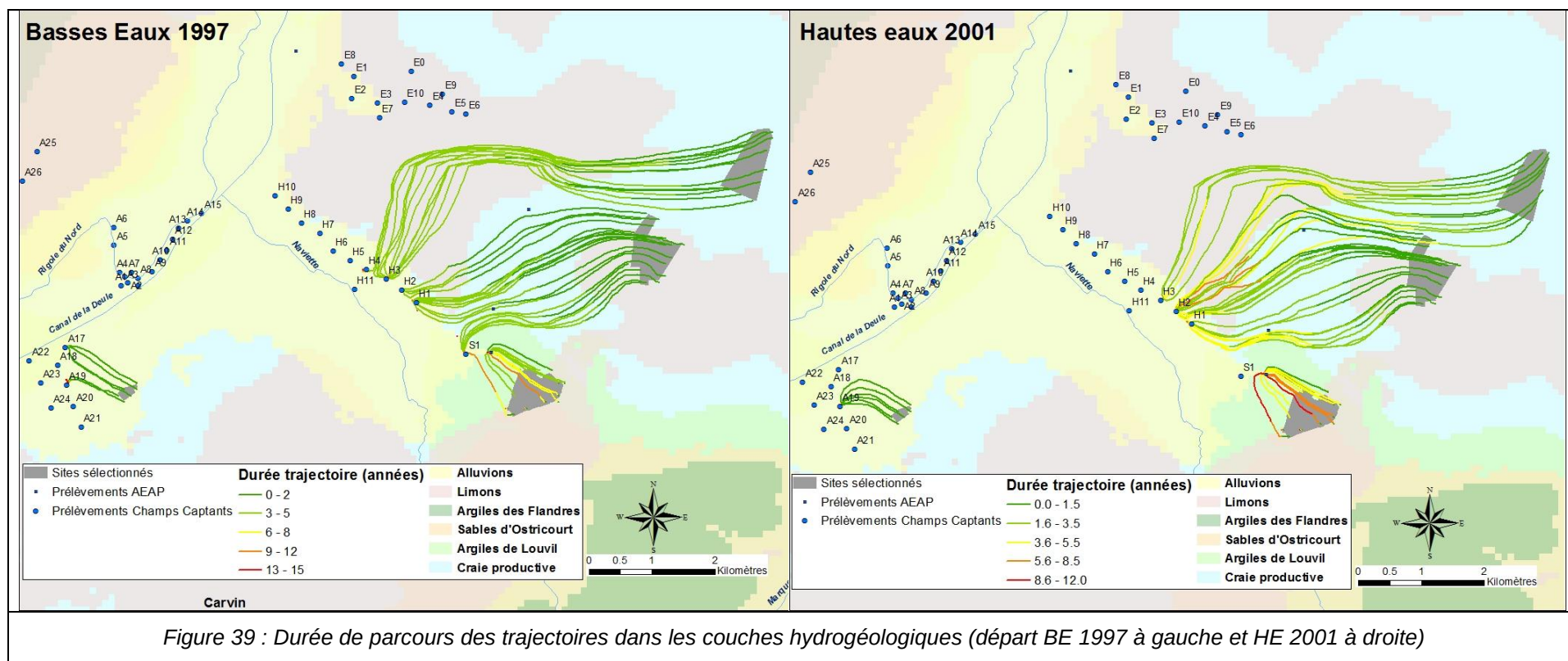
5.1.2. Résultats



Les trajectoires se développent quasi exclusivement dans la couche de la Craie, sauf celles qui sont issues du site « AUD proximité nouvelle gare REGL », dont une partie s'arrête dans la couche des argiles de Louvil.

Les trajectoires qui démarrent dans la configuration des hautes eaux 2001 convergent vers un nombre plus restreint de captages que celles qui démarrent en situation de basses eaux 1997 (Figure 38). En particulier, les trajectoires issues du site A1 Ouest atteignent leurs points finaux dans les captages H1 et H2 du champ captant de Houplin-Ancoisne lorsqu'elles démarrent en situation de hautes eaux 2001, alors qu'elles atteignent aussi le captage de Seclin en démarrant pendant les basses eaux 1997.

Les exutoires des trajectoires se situent essentiellement dans les forages AEP, sauf à Seclin où un forage industriel (00202B0220), implanté dans les périmètres de protection rapprochés, correspond également à un exutoire.



Les trajectoires les plus rapides atteignent leurs points finaux (captages des Anseruilles) au bout de 2 ans, au niveau des lotissements d'Allennes-les-Marais. A proximité des forages, l'eau qui s'infiltre suit une trajectoire directe et rapide.

Les temps de parcours des trajectoires issues des sites A1 Ouest et A1 Est varient entre 2 et 5 ans pour un départ en basses eaux 1997, et entre 2 et 6.5 ans pour un départ en hautes eaux 2001.

Les trajectoires les plus lentes sont celles qui partent du site de l'AUD à proximité la nouvelle gare REGL. Les trajectoires dont les mailles de départ sont recouvertes par les sables d'Ostricourt et les argiles de Louvil n'ont toujours pas atteint leur exutoire au terme de la simulation en 2012 (soit après 15 ans pour les départ en 1997, et après 12 ans pour les départs en 2001).

5.2. NOUVEAUX CALCULS

5.2.1. Méthodologie

Dans les calculs précédents, les forages d'Emmerin subissent des prélèvements trop faibles pour qu'ils constituent un exutoire pour les calculs de trajectoires. Cette situation est peu représentative de la situation actuelle ou à venir. C'est pourquoi de nouvelles hypothèses de calcul ont été envisagées. Afin de prendre en compte le redémarrage du champ captant d'Emmerin à partir de 2007 (Figure 10), les calculs de trajectoires directes ont été relancés en utilisant le scénario prédictif de référence (cf. paragraphe 4.1.1). Ainsi, les prélèvements simulés sont ceux de l'année 2012 et ils restent constants tout au long de la simulation.

Quatre sites supplémentaires de départ de trajectoires ont été ajoutés pour ce nouveau calcul par rapport aux simulations précédentes. Un de ces sites se situe directement sur la craie, un autre sur les limons, et les deux derniers à la fois sur les limons et la craie.

Les dates de départ des trajectoires restent les mêmes. La porosité cinématique est également inchangée.

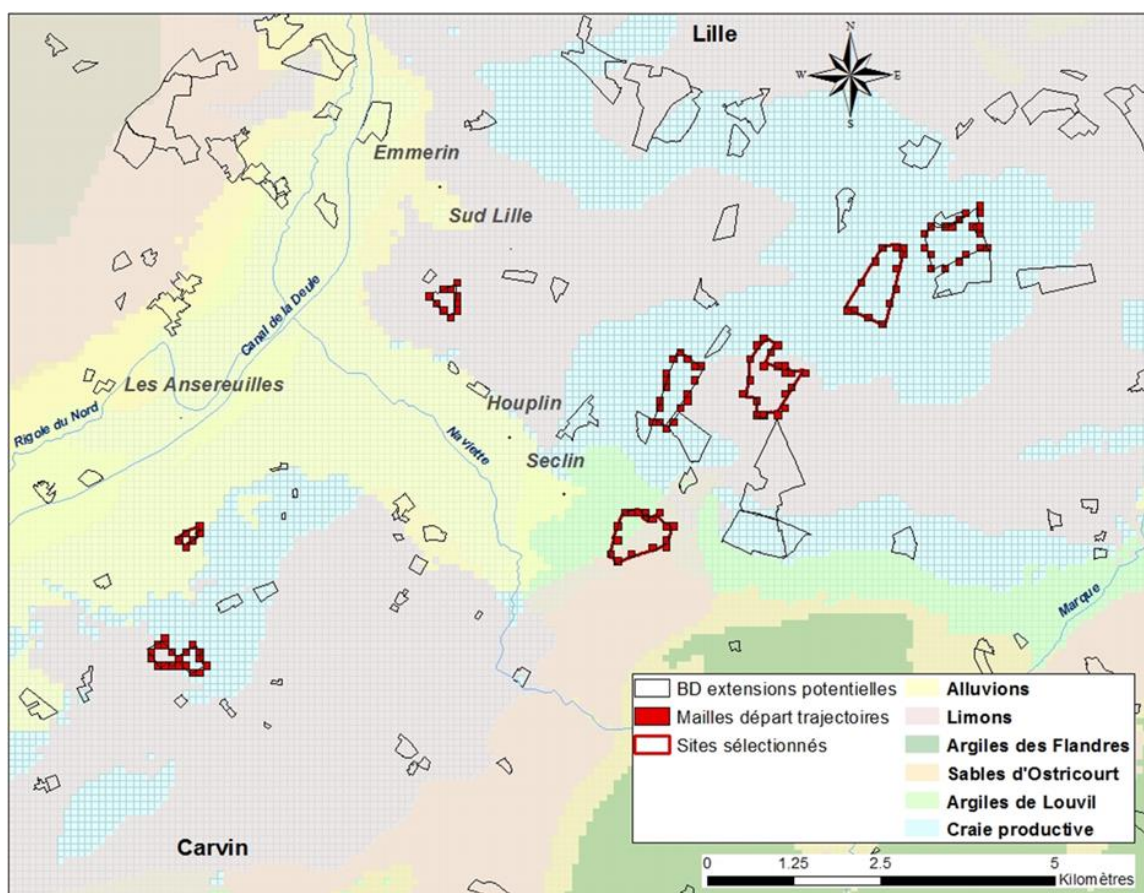


Figure 40 : Localisation des mailles de départ des trajectoires intégrant les sites complémentaires

5.2.2. Résultats

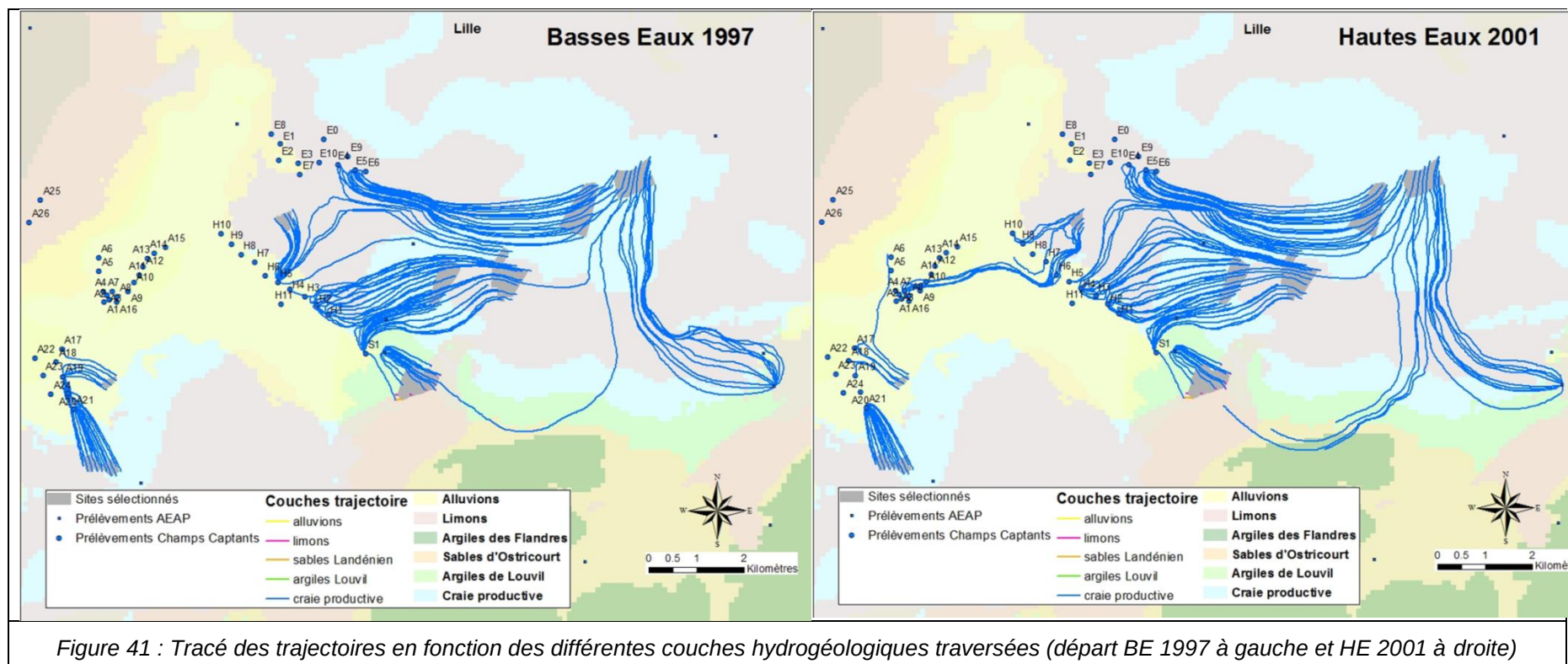


Figure 41 : Tracé des trajectoires en fonction des différentes couches hydrogéologiques traversées (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite)

A partir des sites situés au Nord-Est, les nouvelles trajectoires simulées se différencient des anciennes par leurs exutoires qui se distribuent entre les champs captants d'Emmerin et ceux d'Houplin-Ancoisne du fait de la remise en service du champ captant d'Emmerin.

En limite de l'Aire d'Alimentation des champs captants¹ du sud de Lille, l'eau qui s'infiltre sur le site le plus au Nord peut aboutir à des exutoires très différents, avec des trajectoires qui se dirigent vers le Sud-Est, hors de la zone des champs captants.

¹ Aire d'Alimentation des Captages (AAC) : zone dans laquelle l'eau qui s'infiltre a pour exutoire les captages concernés

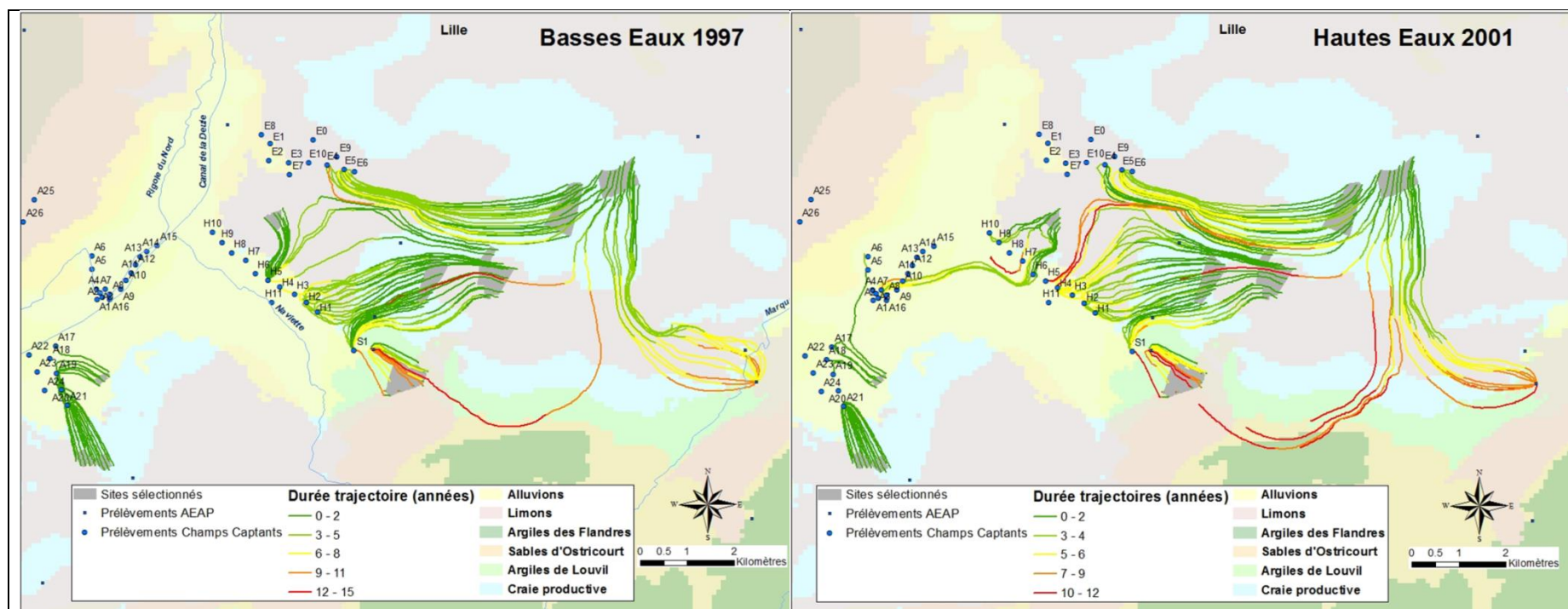


Figure 42 : Durée de parcours des trajectoires dans les couches hydrogéologiques (départ BE 1997 à gauche et HE 2001 à droite)

Les calculs de temps de transfert confirment les résultats obtenus lors des premiers calculs de trajectoires directes.

5.3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Toutes les trajectoires simulées atteignent les forages d'alimentation en eau potable sauf :

- à Seclin, où le forage industriel (00202B0220) implanté dans les périmètres de protection rapprochés constitue aussi un exutoire ;
- en limite d'AAC où les lignes d'écoulements ont parfois d'autres exutoires.

Pour les trajectoires les plus lentes, l'identification de l'exutoire final nécessiterait de poursuivre les simulations au-delà de 31 ans.

Pour un même point de départ, les différents calculs réalisés montrent que la trajectoire (et l'exutoire) est variable selon l'état hydrodynamique (hautes eaux ou basses eaux) et selon les prélèvements (avant ou après le redémarrage du champ captant d'Emmerin).

Les résultats des calculs montrent des temps de transfert qui varient de 5 mois à plus de 12 ans selon les zones de départ des trajectoires. Ces temps de transfert peuvent être comparés entre eux (temps d'arrivée plus long pour un site que pour un autre par exemple), mais ne doivent pas être utilisés pour leur valeur absolue. En effet, étant donné l'incertitude sur le paramètre de porosité cinématique, un temps de transfert calculé de 2 ans doit être interprété comme pouvant se situer entre 1 et 6 ans.

Par ailleurs, le modèle calcule les temps de transfert au sein de la nappe aquifère, auxquels il conviendrait d'ajouter les temps de transfert dans la zone non saturée, entre la surface du sol et la nappe. Les transferts le long de la zone non-saturée sont complexes, en particulier en zone crayeuse, et peuvent être divisés en deux grandes catégories :

- transfert lent (vitesse de l'ordre d'un mètre par an), via l'eau liée, atteignant la nappe de façon diffuse ;
- transfert rapide (quelques jours à quelques mois), lors d'une période de pluviométrie plus importante qui augmente la saturation en eau de la zone non-saturée.

Il est à noter qu'en zone urbanisée ou industrielle le deuxième type de transfert intervient en particulier lors d'incendies, pendant lesquels une quantité d'eau importante est déversée par les pompiers. L'infiltration d'une telle eau dans la nappe engendre en général des pollutions.

En conclusion, les trajectoires calculées et les temps de transfert associés sont indicatifs, associés à une incertitude liée à la variabilité des situations (pluviométrie, niveaux de nappe, distribution des pompes), aux incertitudes de modélisation, et à l'état actuel des connaissances scientifiques.

6. Conclusions et recommandations

6.1. CONCLUSIONS

6.1.1. Aspects quantitatifs

L'imperméabilisation des sols et la collecte des eaux de ruissellement conduisent à une réduction de la recharge pluviale de la nappe de la Craie. L'utilisation des modèles hydrodynamiques les plus récents (Bessière et al., 2015) a permis d'évaluer plus précisément les conséquences de cette diminution de la recharge. En tenant compte de l'ensemble des projets d'urbanisation projetés sur le territoire du SCOT jusqu'en 2035 (soit environ 4 000 ha en discussion en juillet 2015, dont 970 ha sur les champs captants)², le modèle prévoit que l'imperméabilisation des sols conduira, au niveau des champs captant du sud de Lille, à :

- une augmentation des apports d'eau par les rivières et canaux (jusqu'à +14% sur le champ captant d'Emmerin) ;
- une baisse du niveau d'eau dans la nappe de la Craie (d'environ 10 cm sur le champ captant d'Emmerin jusqu'à environ 2 m au droit des grandes zones imperméabilisées) ;
- peu d'impacts attendus sur les lignes d'écoulement et sur l'étendue de l'aire d'alimentation des captages.

Si les baisses de niveau d'eau peuvent paraître modestes au vu des variations saisonnières, ces évolutions prévisionnelles de la quantité d'eau dans la nappe sont susceptibles d'avoir des conséquences sur la qualité de l'eau de nappe, et ce pour plusieurs raisons :

- compte tenu de la mauvaise qualité des eaux et sédiments des rivières et canaux (et du canal de la Deûle en particulier), une augmentation des apports par les cours d'eau devrait mécaniquement diminuer la qualité de l'eau pompée dans la nappe ;
- lorsque la nappe est quasi-affleurante (par exemple à la platière d'Emmerin), une baisse même faible du niveau d'eau peut impacter la fonction épuratoire de la zone humide associée, voire menacer l'existence même de cette dernière ;
- lorsque le niveau d'eau de la nappe est proche d'une interface géologique type Craie-Argile, une évolution de ce niveau peut engendrer le relargage ou le piégeage de substances indésirables (Cary et Parmentier, 2014).

Si l'eau brute prélevée dans la nappe ne répond plus aux critères de qualité (définis par l'arrêté du 11 janvier 2007), elle ne pourra plus être utilisée pour la production d'eau potable.

² Pour mémoire : cette projection d'urbanisation a été revue à la baisse dans le projet de SCOT arrêté le 26 février 2016, puisqu'il présente au final un total d'extensions de 2 650 ha.

6.1.2. Aspects qualitatifs

De nombreuses activités humaines (industrialisation, infrastructures de transport, gestion des eaux pluviales et des eaux usées, gestion des déchets, gestion des espaces verts, etc.) induisent des risques de contamination de la nappe par des pollutions diffuses ou accidentelles.

L'eau qui s'infiltre dans le sol traverse les différentes couches géologiques, circule au sein de la nappe de la Craie et aboutit à un de ses exutoires, le plus important dans ce secteur étant constitué par les pompages d'eau destinée à l'alimentation en eau potable. Cette eau qui s'infiltre peut être porteuse de substances potentiellement polluantes. Le modèle hydrodynamique a permis d'évaluer les cheminements parcourus par de telles substances au sein des différentes couches géologiques et d'estimer les temps de transfert associés.

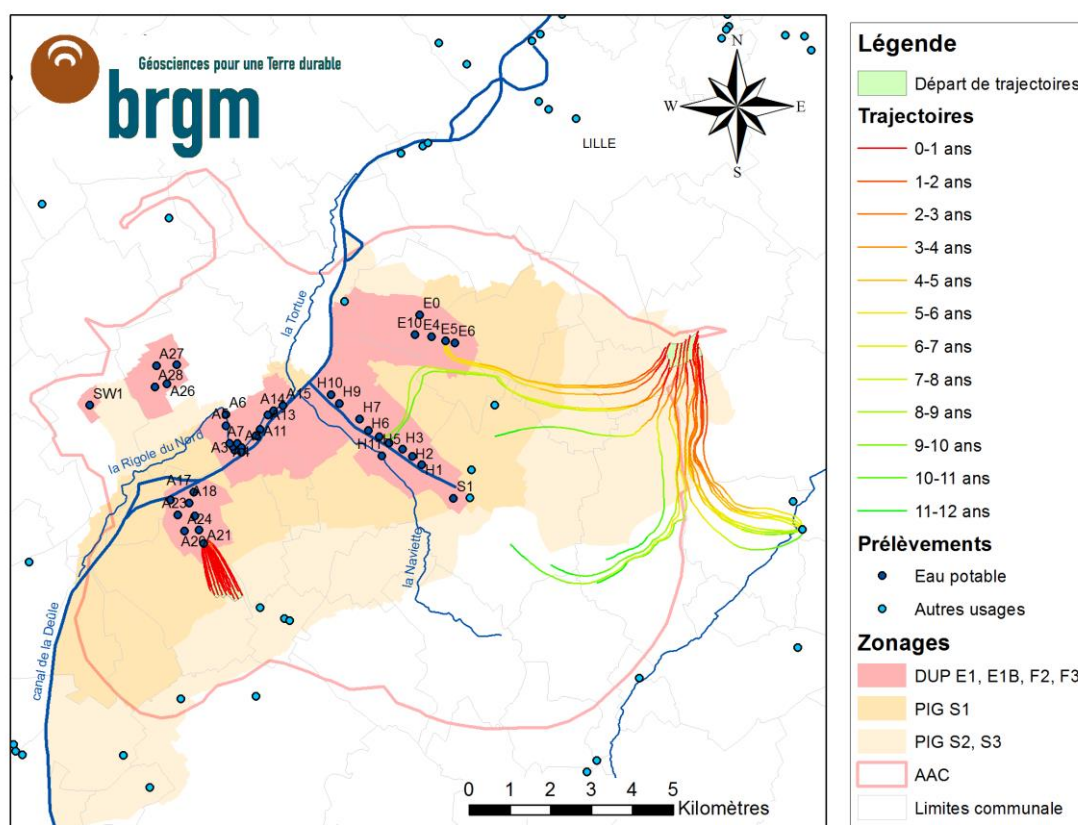


Figure 43 : Exemples de trajectoires obtenues par le modèle.

Des exemples de trajectoires sont présentés sur la Figure 43 ci-dessus. L'Aire d'Alimentation de Captages (AAC) définit la zone dans laquelle l'eau qui s'infiltre a pour exutoire les captages concernés. L'eau qui s'infiltre en limite de l'AAC peut aboutir à des exutoires très différents. A proximité des forages, l'eau qui s'infiltre suit une trajectoire directe et rapide. Une pollution sur un tel secteur conduit à un risque important de distribution d'une eau non-potable. Les résultats de simulation montrent des temps de transfert allant de quelques mois à plus de 12 ans. Ceux-ci dépendent essentiellement du point d'infiltration : distance des forages et contexte géologique local. Les trajectoires simulées et les temps de transfert associés sont indicatifs, indissociables des incertitudes liées à la variabilité des situations (pluviométrie, niveau de la nappe, répartition des pompages), à la modélisation et à l'état actuel des connaissances scientifiques.

6.2. RECOMMANDATIONS

Il s'agit d'assurer des usages du sol compatibles avec la préservation de la ressource en eau sur le plan quantitatif et qualitatif. Quelques recommandations ou préconisations sont explicitées ci-dessous qui ont pu être proposées ou discutées lors des réunions du Comité technique.

Différentes mesures (DUP, PIG, ORQUE, etc.) existent afin de préserver la ressource en eau. Elles sont sans doute encore insuffisantes. Mais elles doivent avant tout être accompagnées d'une prise de conscience collective. La première des recommandations concerne donc l'importance de communiquer sur les enjeux de préservation de la ressource en eau potable de la métropole lilloise.

6.2.1. Quelques préconisations concernant l'usage du sol

Afin de préserver la ressource en eau, l'usage du sol devra autant que possible respecter les préconisations suivantes :

- Eviter l'installation d'activités présentant des risques de pollution pour la nappe ;
- Favoriser le renouvellement urbain par rapport à toute urbanisation supplémentaire ;
- Réduire les surfaces imperméabilisées ;
- Gérer les eaux pluviales de façon à favoriser l'infiltration à la source tout en minimisant le risque de pollution ;
- Eviter le ruissellement sur des surfaces potentiellement polluantes (chaussée goudronnée, toiture en zinc, etc.) ;
- Moderniser et entretenir les réseaux d'eaux usées ;
- Réduire l'utilisation des produits potentiellement polluants (par exemple les produits phytosanitaires pour l'agriculture et l'entretien des espaces publics) ;

6.2.2. La place de l'agriculture

Dans l'objectif de définir un projet de territoire compatible avec la préservation de la ressource en eau, un des points clés concerne la question de la place de l'agriculture dans un contexte péri-urbain (voire urbain). Cette question émerge en remarquant les deux faits suivants :

- il est plus difficile de maîtriser le risque de pollution de la nappe en zone urbanisée du fait de la diversité des activités et des acteurs, de leur densité et de leur renouvellement constant. A l'inverse, en zone agricole, le risque de pollution, sans être absent, est relativement bien connu et peut être plus facilement appréhendé ;
- on ne peut revenir d'un usage urbain bâti à un usage agricole, car les coûts de revégétalisation sont énormes.

Au-delà du simple maintien de zones agricoles, une « agriculture péri-urbaine » serait sans doute à développer. Celle-ci peut se définir comme l'agriculture répondant aux diverses demandes exprimées par les citoyens, aussi bien alimentaires (agriculture de proximité, vente directe, etc.) que récréatives (cueillette, ferme pédagogique, jardins partagés, etc.). Le développement de l'agriculture péri-urbaine sur le territoire sud de Lille constitue un des leviers pour résoudre le problème posé par la gestion de l'alimentation en eau potable de la métropole lilloise. D'autres leviers de développement seraient à identifier, à définir et à expérimenter.

6.2.3. Vers un « territoire de projet Sud »

Le SCOT de Lille Métropole propose la mise en place d'une démarche de « Territoires de projets » dans différents secteurs de la métropole où se concentrent d'importants enjeux. La démarche vise à construire une ambition commune avec l'ensemble des acteurs du territoire.

Le territoire Sud est l'un des secteurs clefs de la métropole, en raison de la complexité des enjeux rencontrés : protection de la ressource en eau des champs captants, activité économique importante (notamment agricole) et problèmes d'accessibilité routière. Il fait de plus l'objet de projets majeurs en matière de développement économique et d'infrastructures de transports.

Le territoire Sud pourrait devenir un secteur pilote, impliquant différents acteurs concernés, pour construire un développement urbain raisonné, conciliant protection de la ressource en eau, agriculture, cadre de vie et modes de développement innovants via le développement d'une agriculture raisonnée et de proximité, le développement du tourisme vert (exemple du parc de la Deûle), le développement d'une filière liée au traitement de l'eau, l'aménagement modéré de zones d'habitat et d'activités exemplaires en matière de gestion de l'eau, le traitement des sites pollués, la poursuite de l'amélioration du réseau d'assainissement, etc.

6.3. PERSPECTIVES

Le travail présenté ici a mis à profit le modèle hydrodynamique existant (Bessière et al., 2015) sans aucune amélioration, actualisation, ou autres modifications du calage. Ce travail a permis de montrer que l'imperméabilisation du sol pouvait avoir un impact sur le fonctionnement hydrodynamique et avec des temps de réactivité relativement longs (5 à 10 ans au moins). Une des perspectives d'amélioration de l'outil serait sans doute de mieux prendre en compte le développement urbain de la métropole lilloise depuis les années 50.

Cette étude est basée sur une version non définitive des projets d'urbanisation : 4000 ha à la date de juillet 2015, au lieu des 2000 ha dans la version arrêtée de février 2016. Elle a permis d'apporter des premiers éléments de réponse et d'alimenter les discussions du comité technique concernant les conséquences de l'urbanisation sur la pérennité de la ressource en eau. Néanmoins, afin d'évaluer plus précisément les conséquences des projets arrêtés par le SCOT, il pourrait être intéressant de calculer de nouveaux scénarios, suivant la même méthodologie, basé sur la dernière version des projets d'urbanisation.

Des occupations du sol susceptibles d'être compatibles avec la préservation de la ressource en eau, ont été proposées. Citons par exemple, et de façon clairement non-exhaustive, le développement d'une agriculture raisonnée, le développement du tourisme vert. Si ces quelques propositions répondent au critère de préservation de la ressource en eau, d'autres critères (environnementaux, économique, sociétaux, etc.) sont à prendre en compte pour définir un développement économique durable. Afin d'estimer l'intérêt de la préservation de la ressource en eau, une analyse plus générale, *i.e.* prenant en compte l'ensemble des critères, pourrait être utile. A cette fin, des méthodologies socio-économiques récentes pourraient se révéler efficaces (voir par exemple, Hérivaux et Grémont, 2015).

7. Bibliographie

Beckelynck J. et Kleszcz J.P. 1980. Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Région Nord-Pas-de-Calais. [BRGM/81-SGN-266-NPC](#).

Bessière H., Picot J., Picot G. et Parmentier M. 2015. Affinement du modèle hydrogéologique de la Craie du Nord-Pas-de-Calais autour des champs captants de la métropole Lilloise. [BRGM/RP-63689-FR](#).

Buscarlet E. et Pickaert L. 2011. Modélisation de la nappe de la Craie du Nord-Pas-de-Calais. Calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire. [BRGM/RP-60217-FR](#).

Cary L. et Parmentier M. 2014. Présence de sélénium dans les eaux souterraines des champs captants de LMCU et Noréade du sud de Lille. [BRGM/RP-63289-FR](#).

DTMP 2009. Diagnostic Territorial Multi-Pressions champs captants du sud de Lille.

Guide de Gestion durable des eaux pluviales de Lille Métropole, 2012.

Hérivaux C. et Grémont M. 2015. Caractérisation des bénéfices économiques liés à la préservation des eaux souterraines : le cas des zones de sauvegarde pour l'alimentation en eau potable. [BRGM/RP-63859-FR](#).

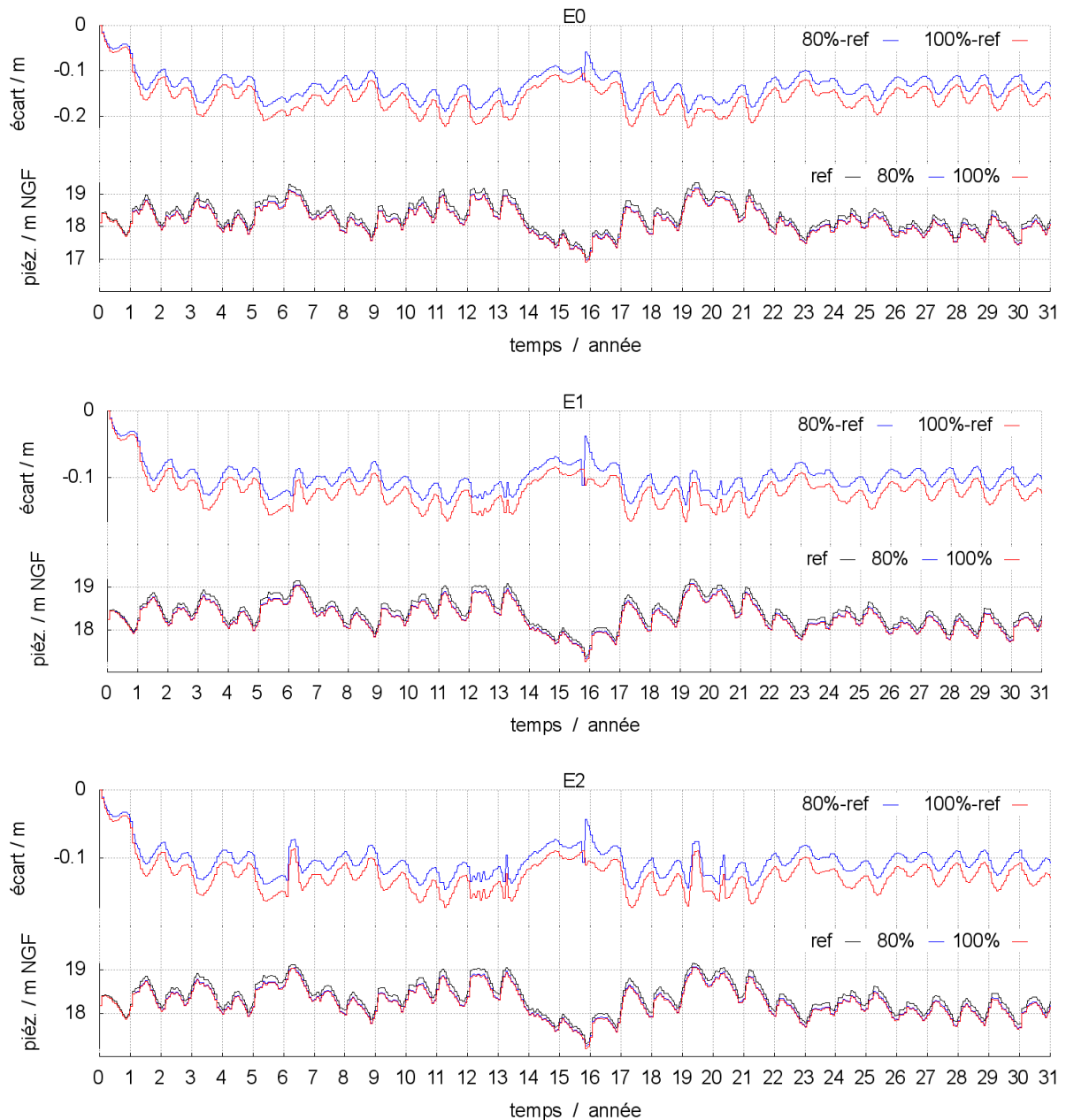
Annexe 1

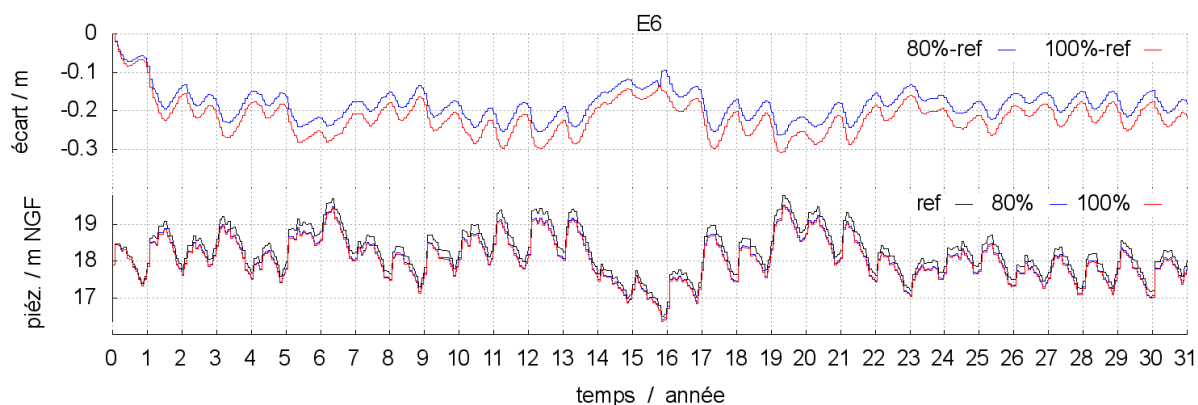
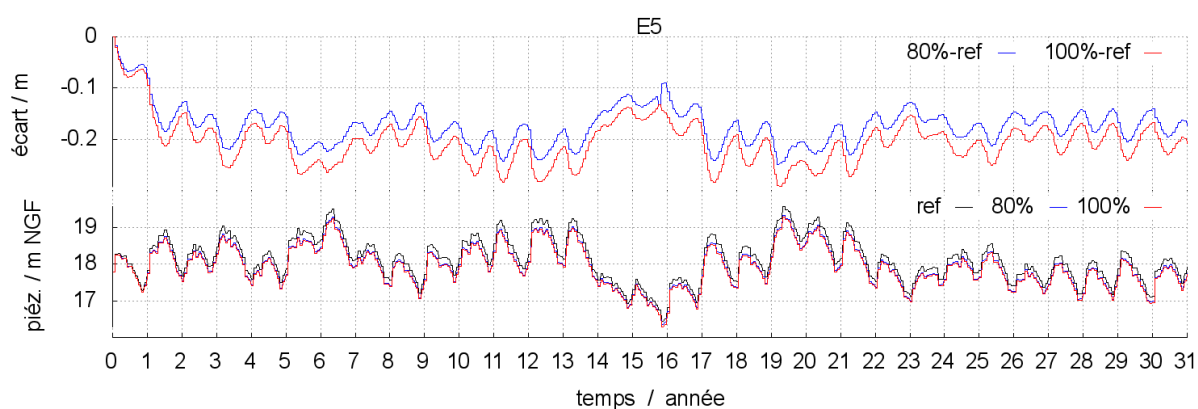
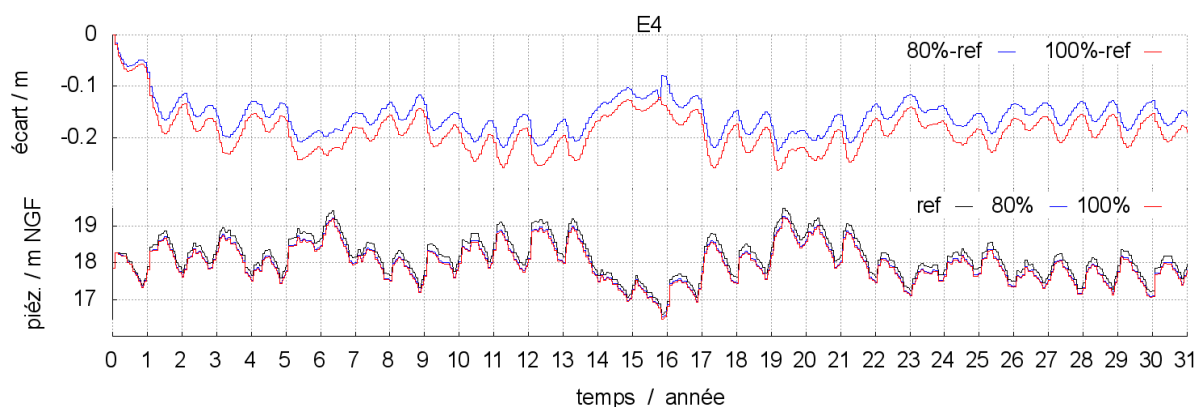
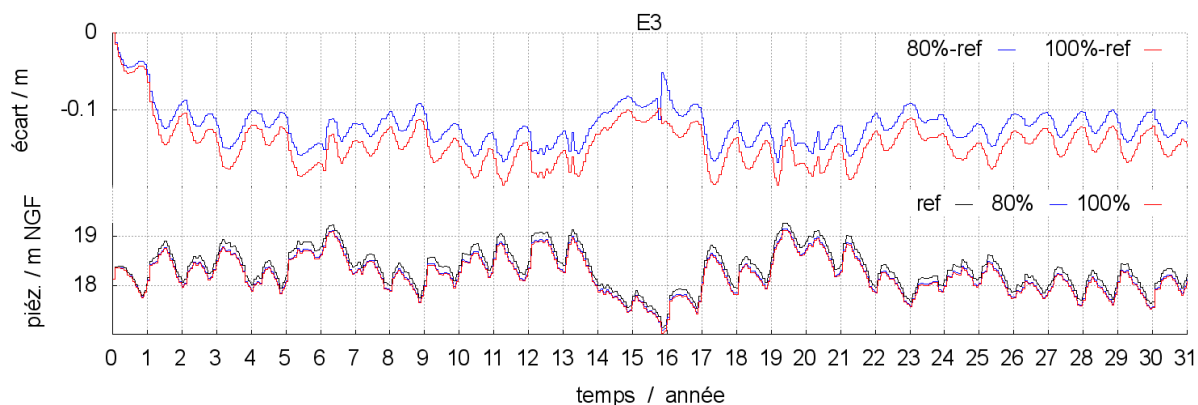
Comparaison des chroniques piézométriques simulées pour les différents scénarios prévisionnels

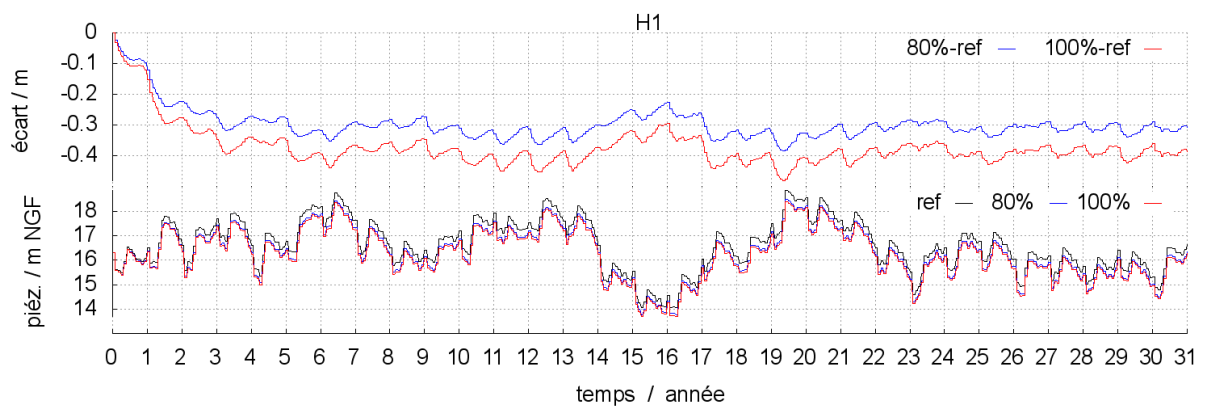
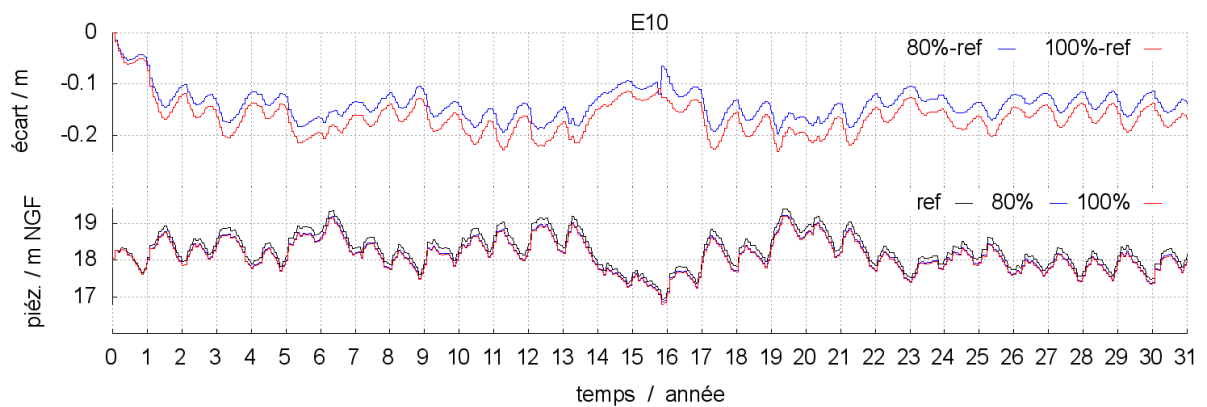
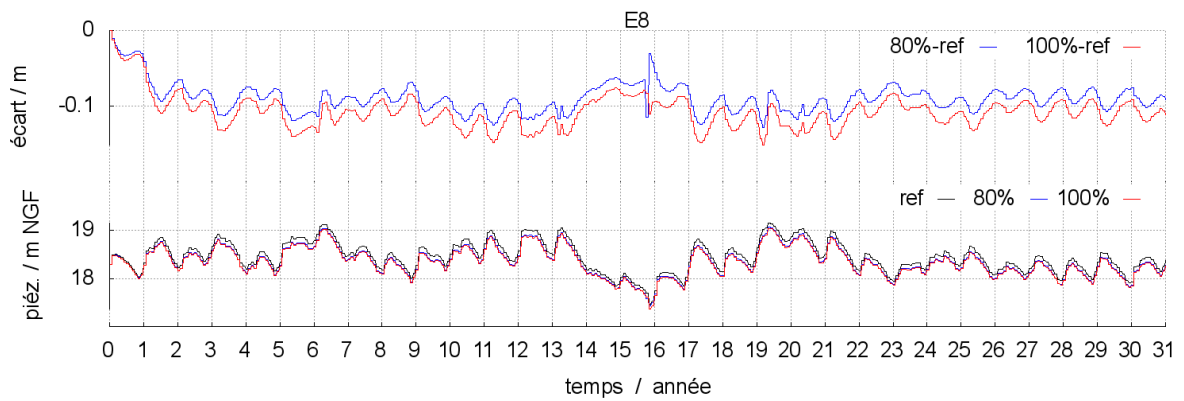
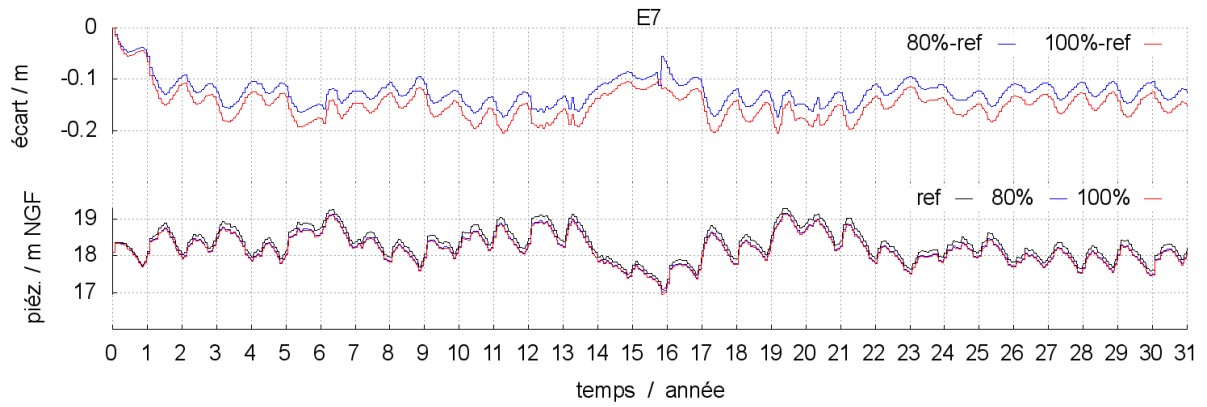
Chroniques piézométriques simulées pour les 3 scénarios (référence, 80% d'imperméabilisation et 100% d'imperméabilisation) et comparaison des écarts de piézométrie des scénarios d'imperméabilisation par rapport au scénario de référence.

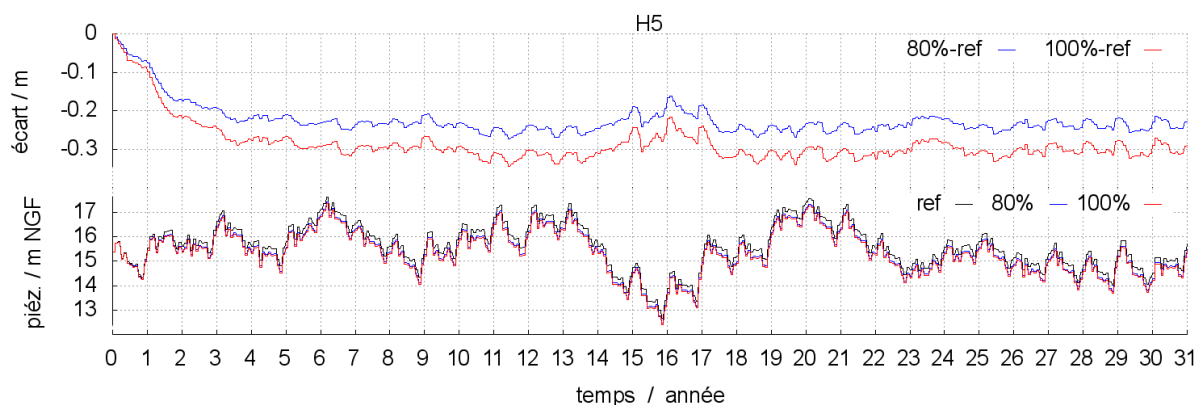
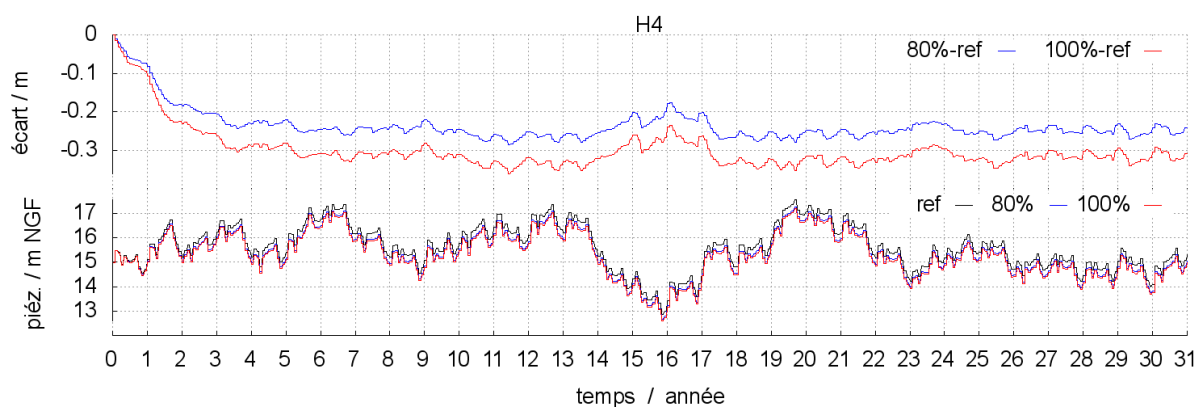
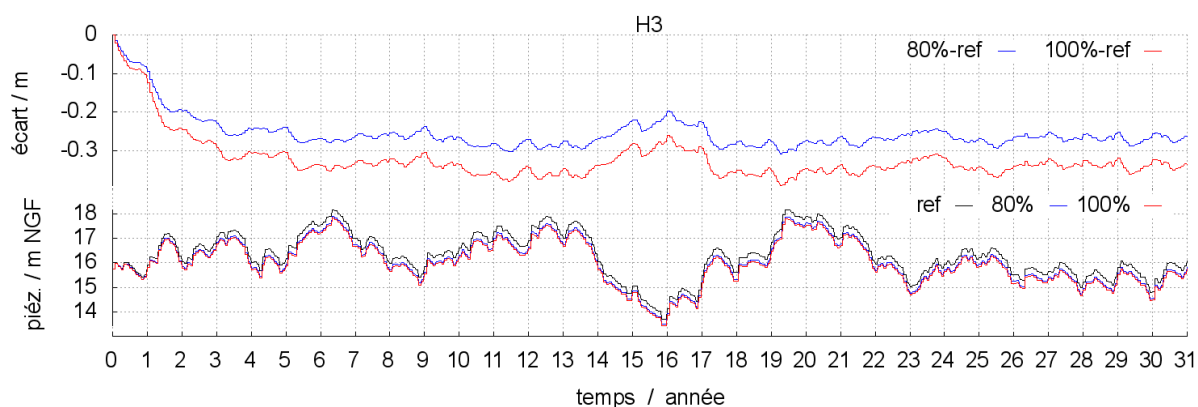
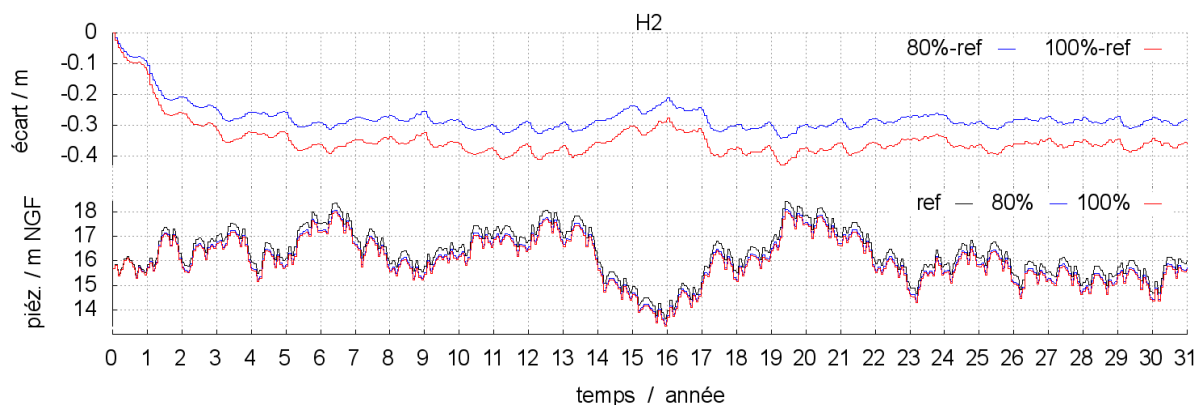
Pour plus de détails, le lecteur est renvoyé aux paragraphes 4.2.2 : en particulier, la localisation géographique des points de rattachement des chroniques piézométriques est précisée sur la Figure 18.

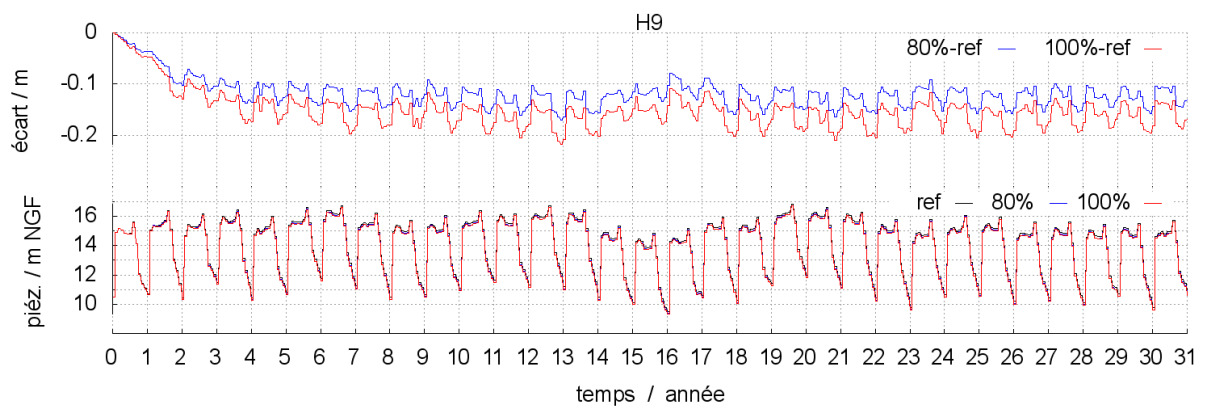
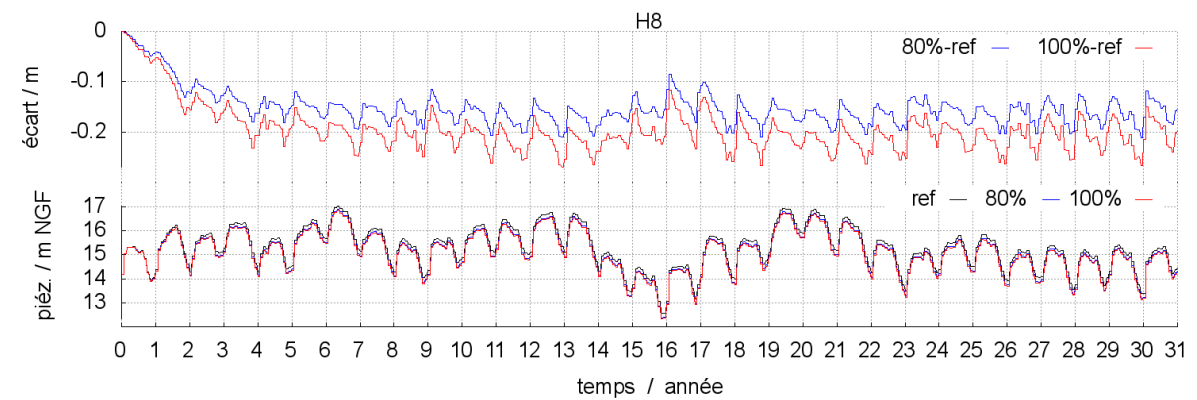
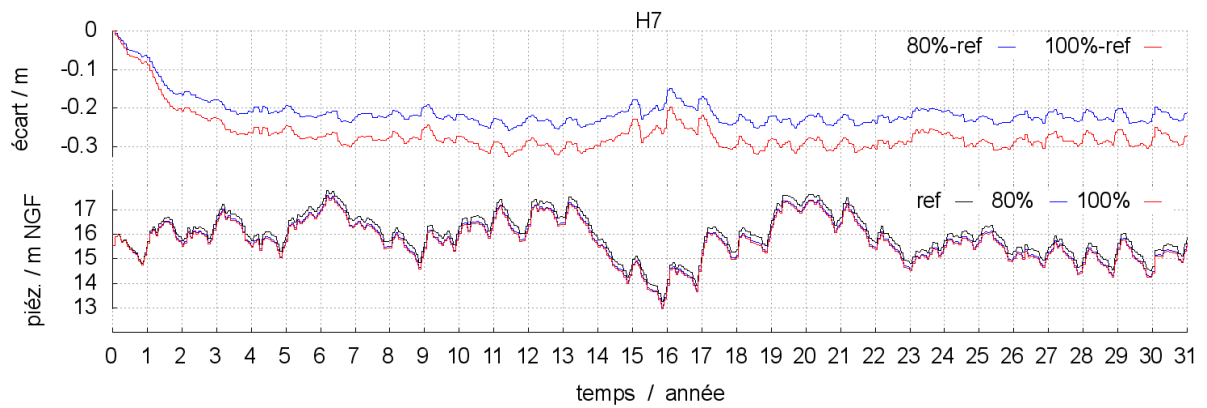
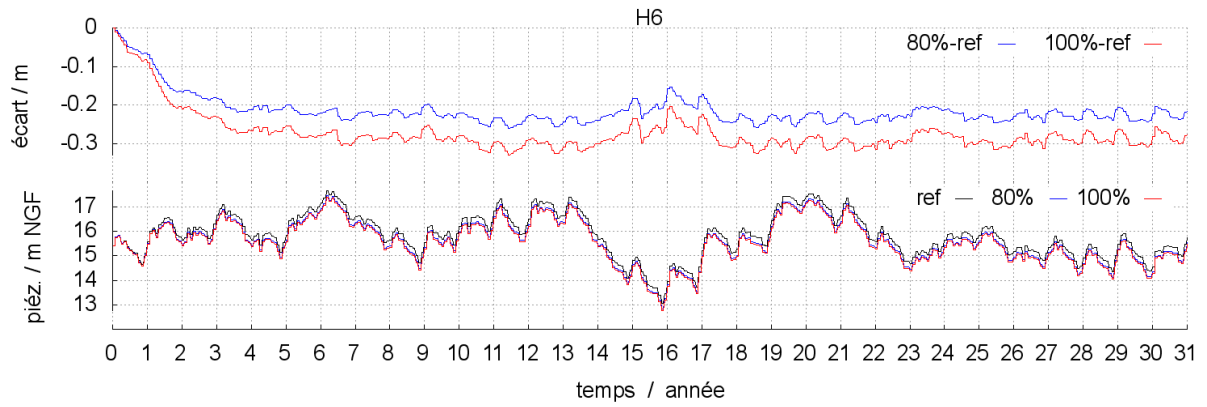
Pour comparer avec les données piézométriques, le lecteur est renvoyé au rapport BRGM/RP-63689-FR (Bessière et al., 2015)

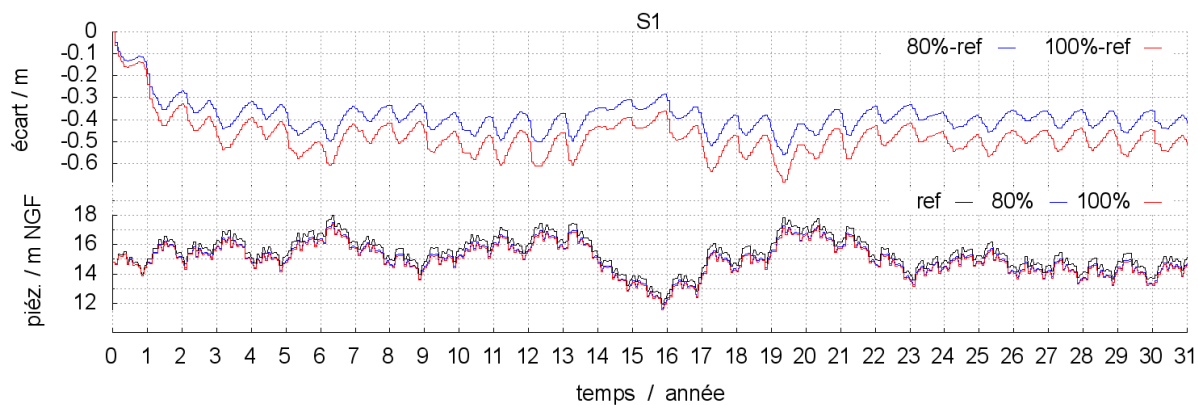
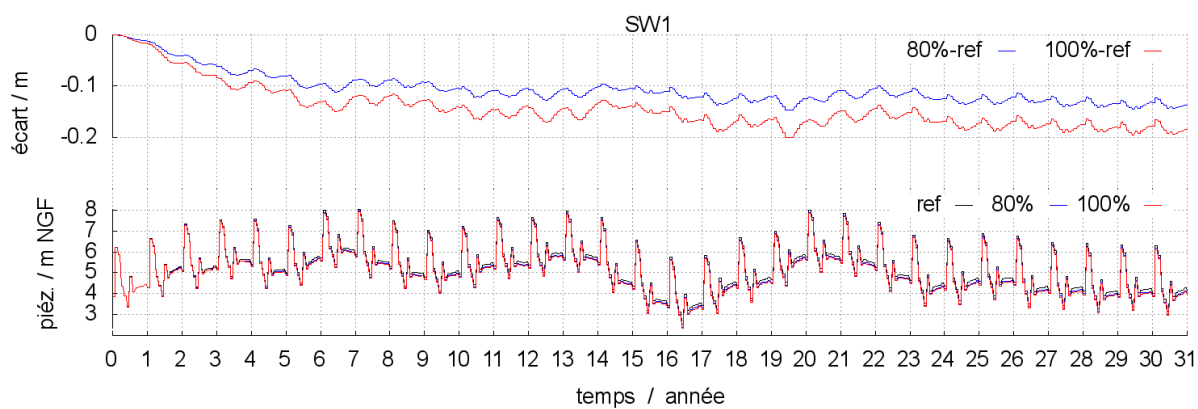
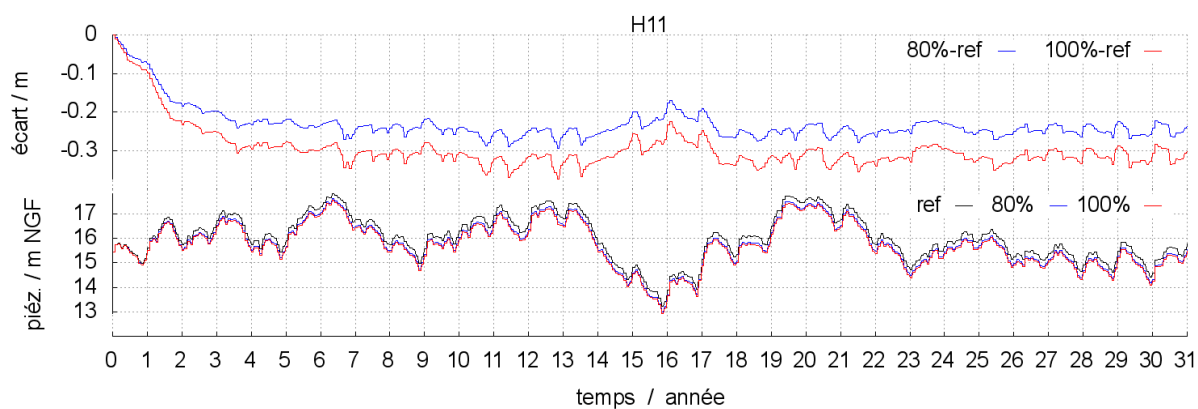
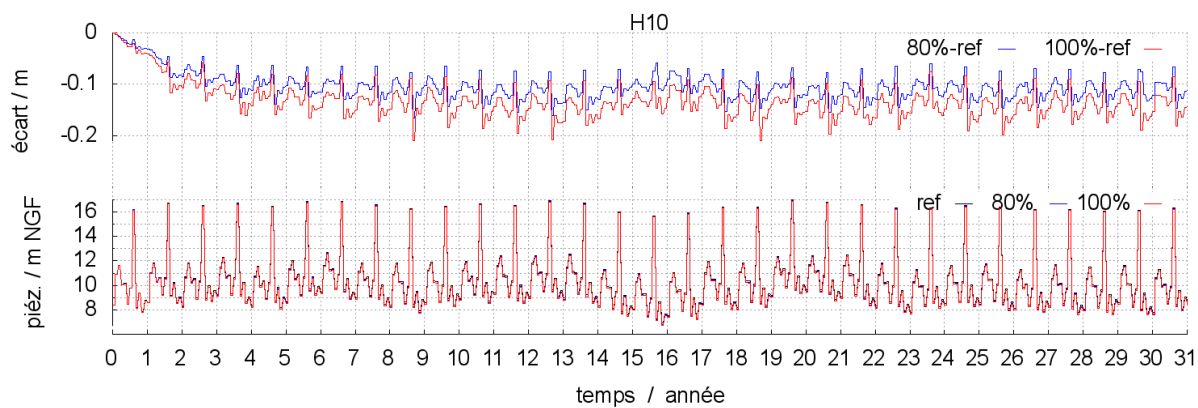


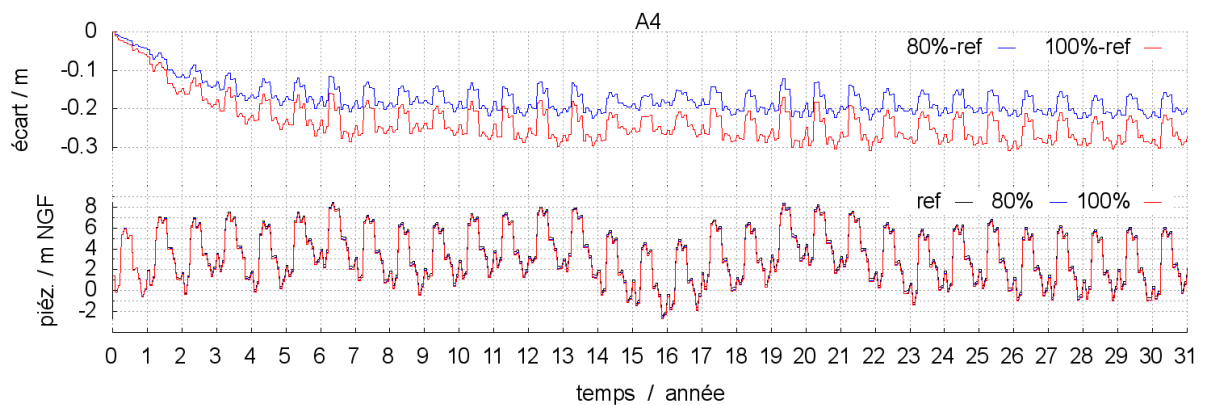
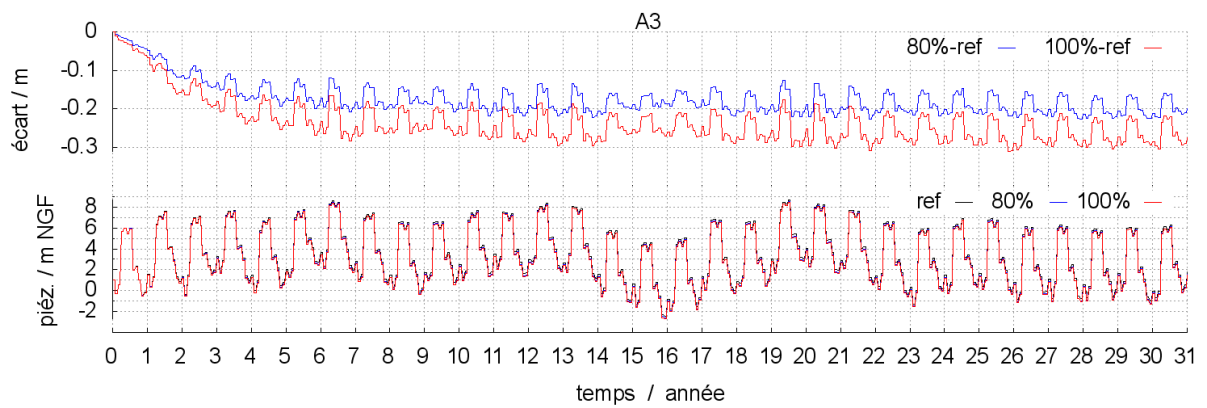
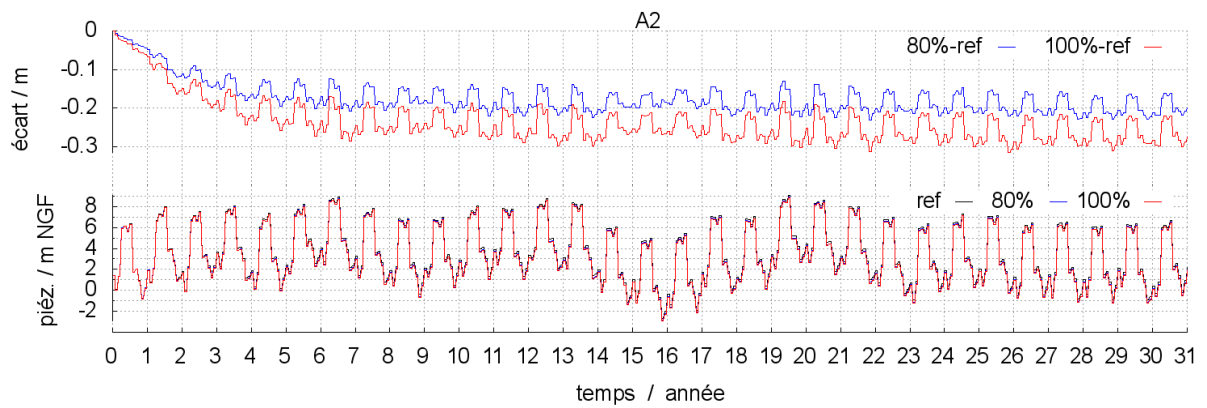
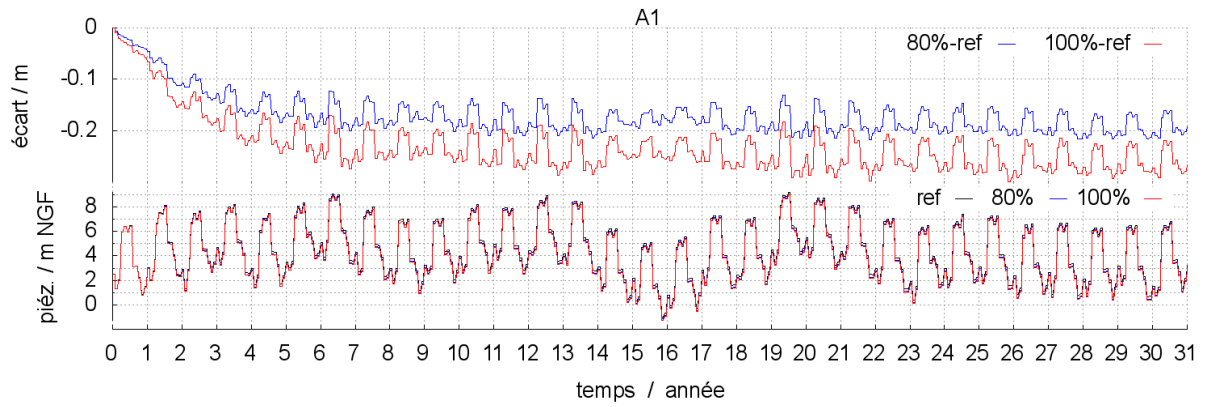


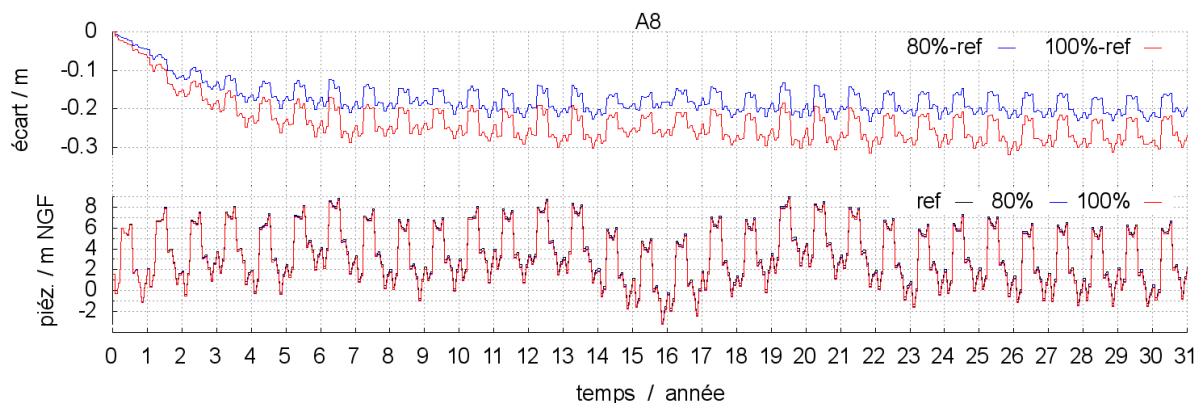
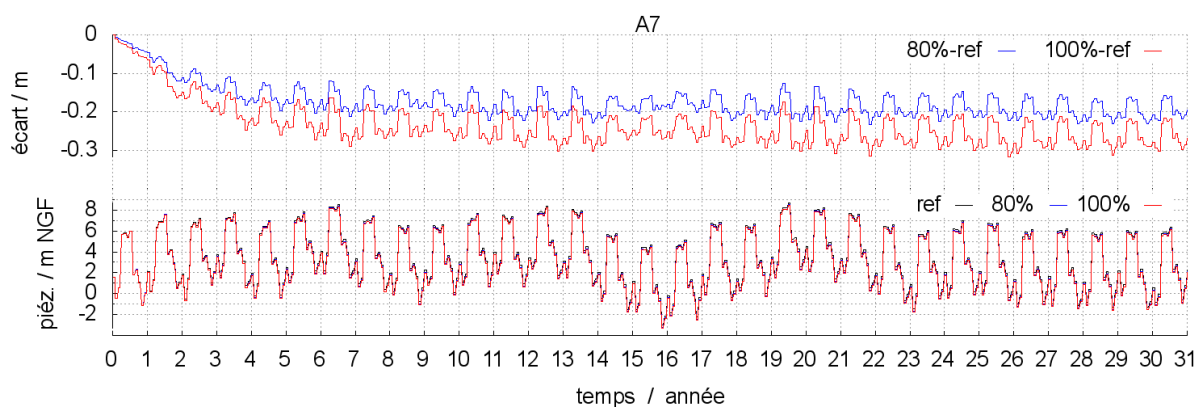
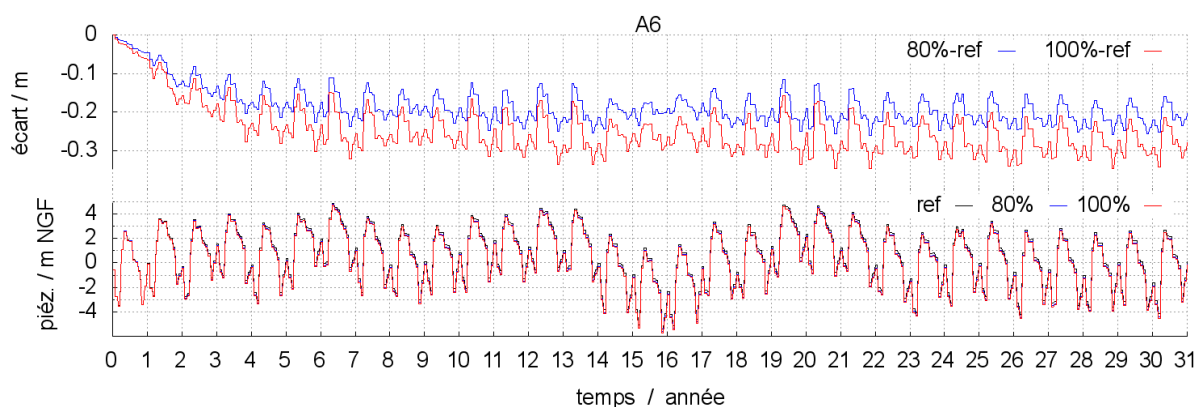
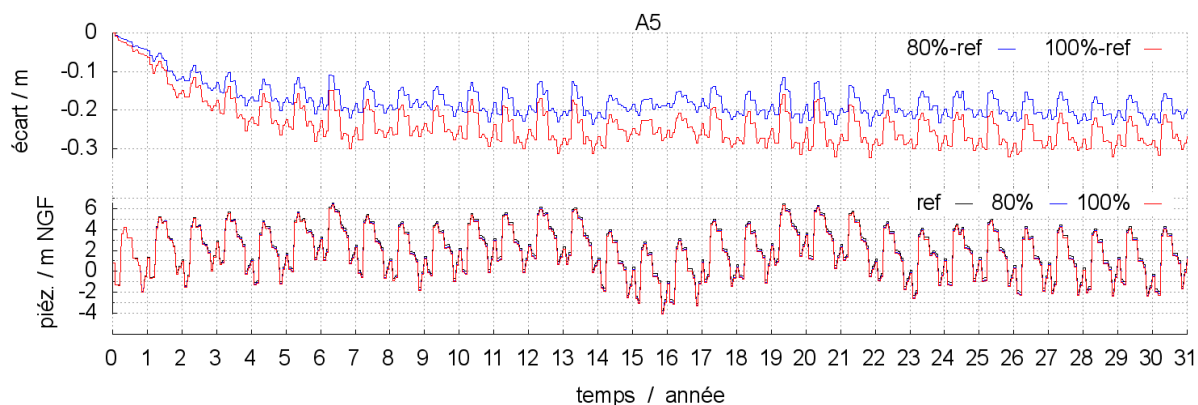


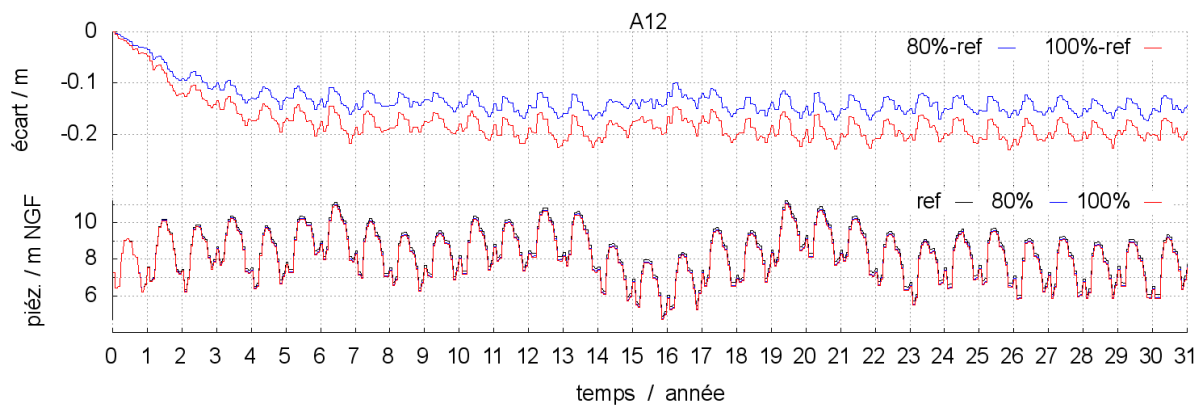
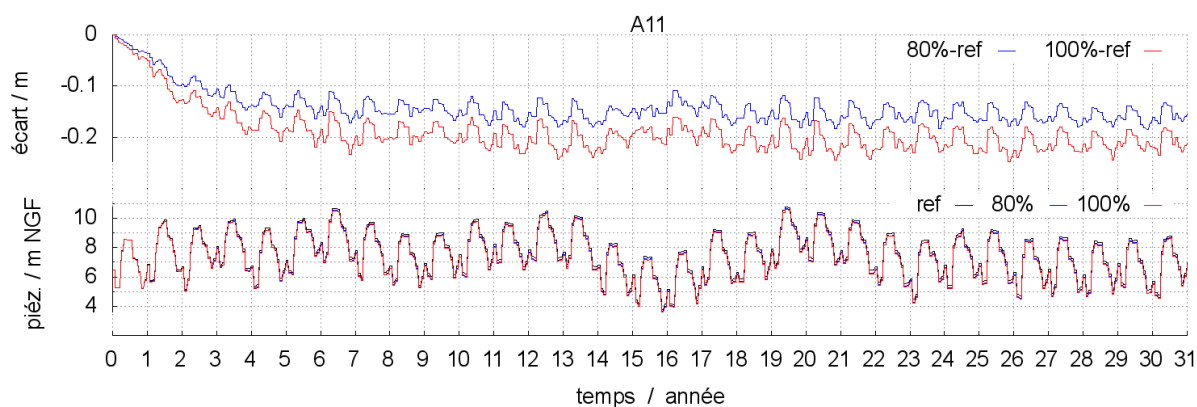
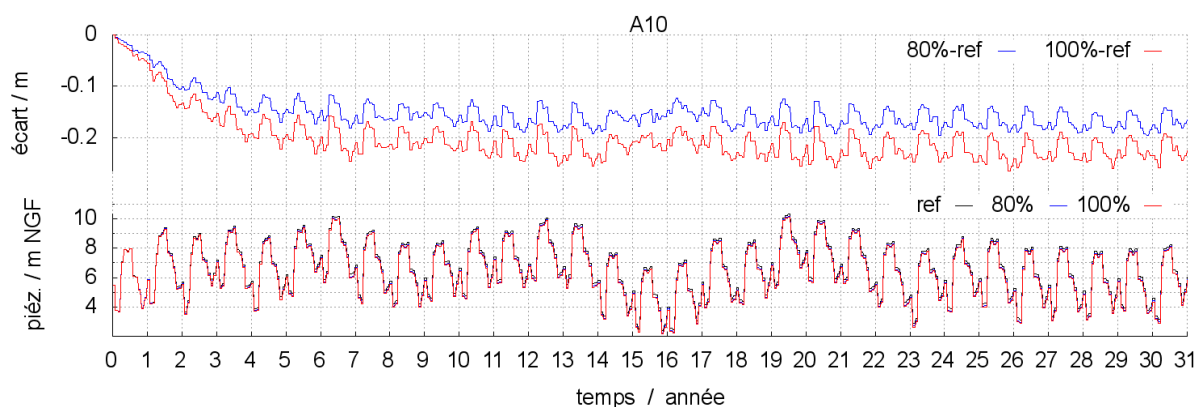
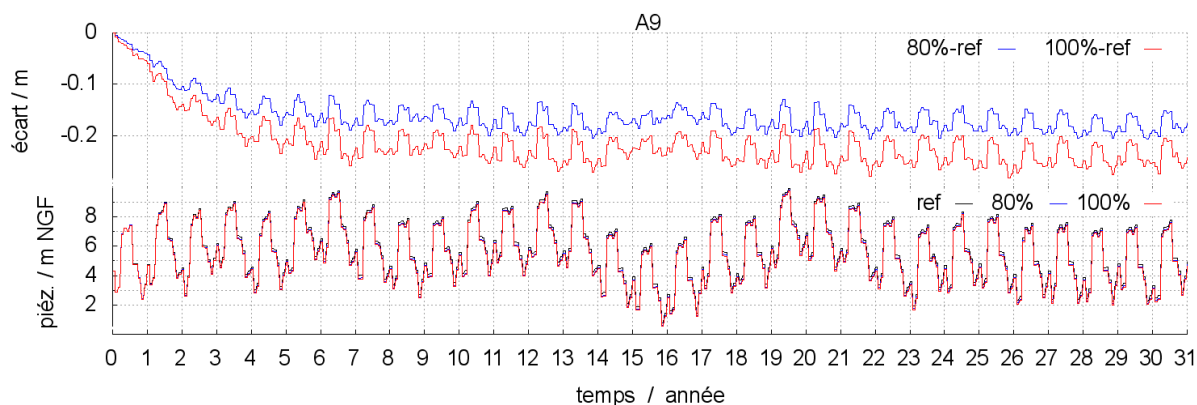


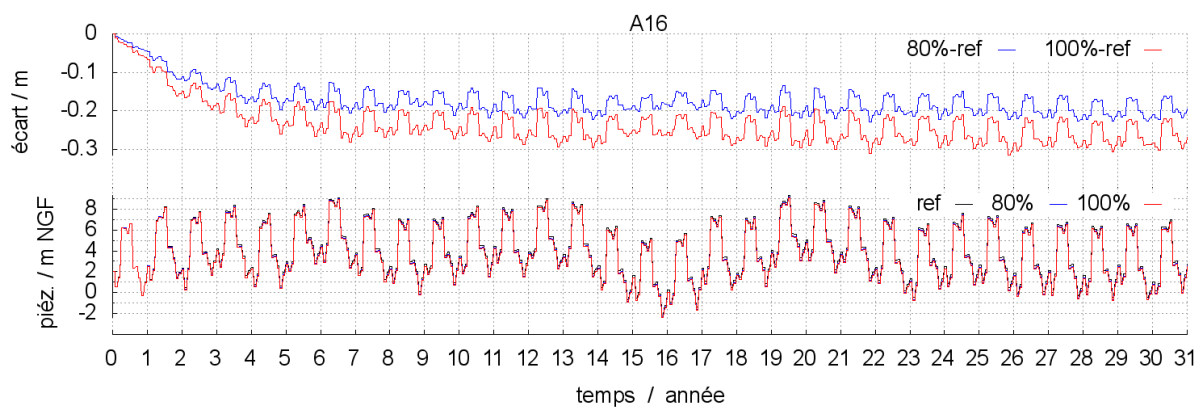
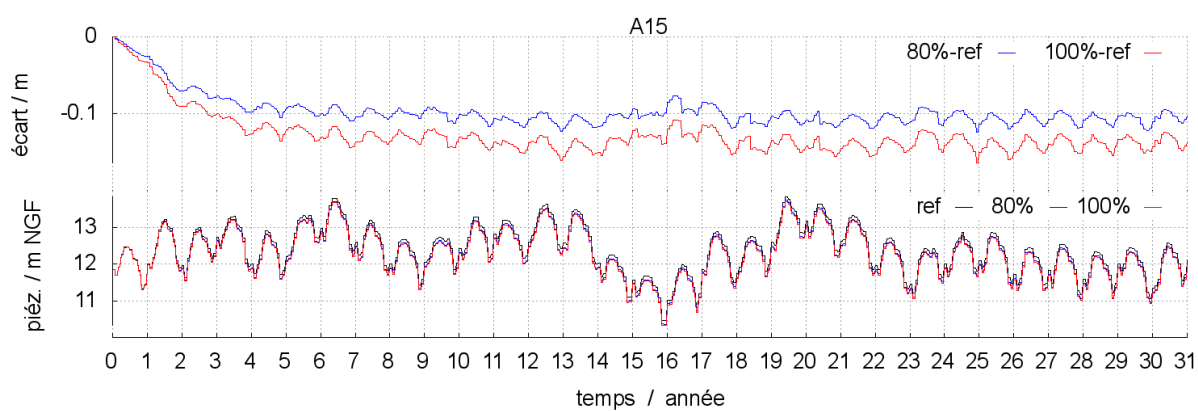
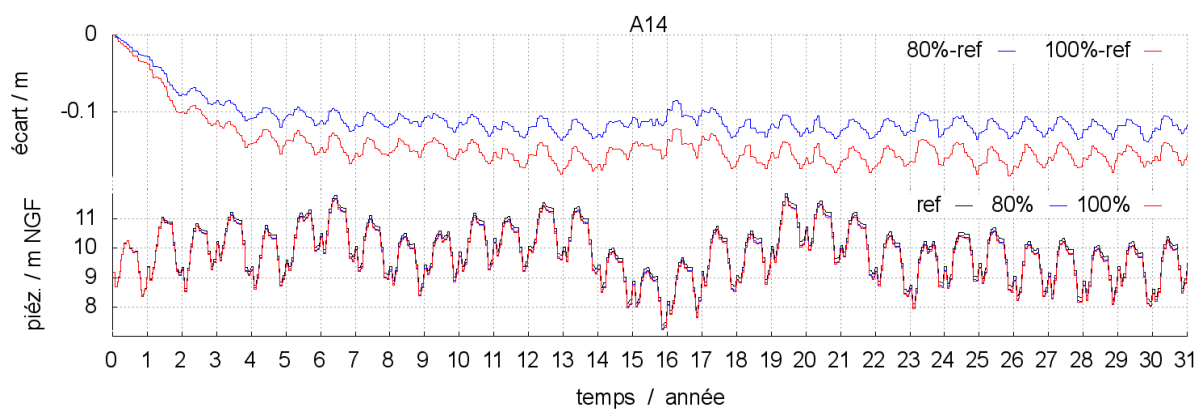
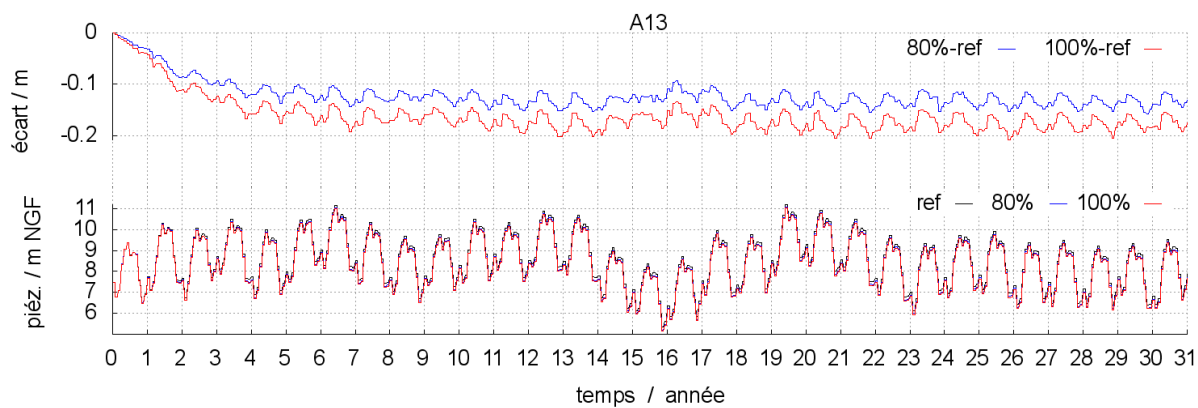


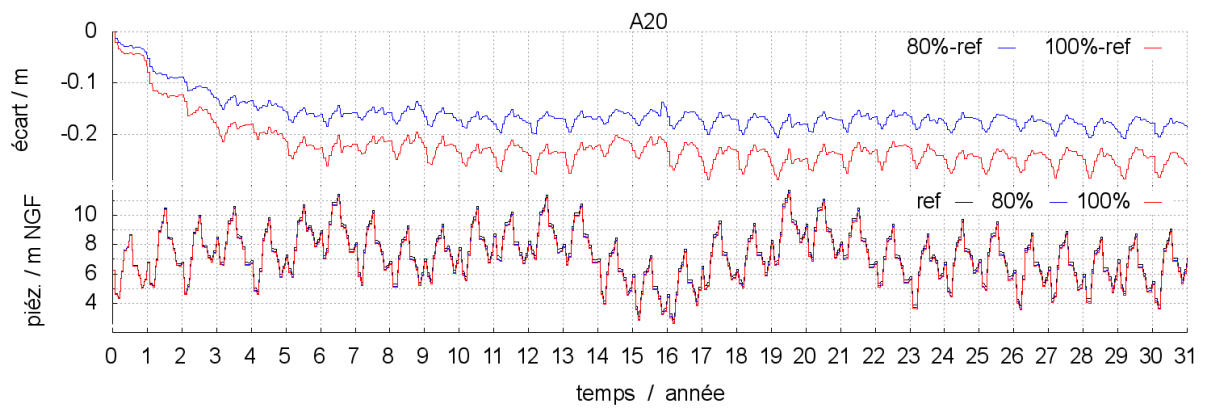
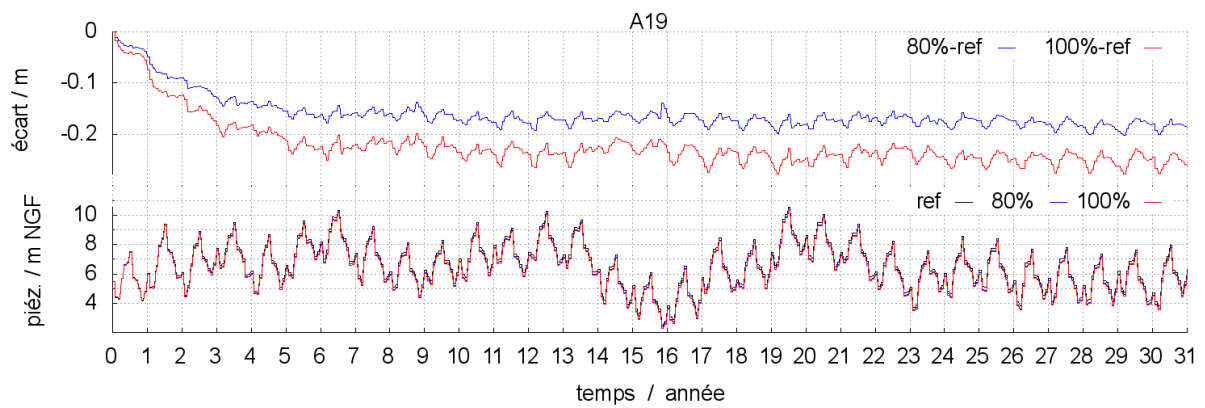
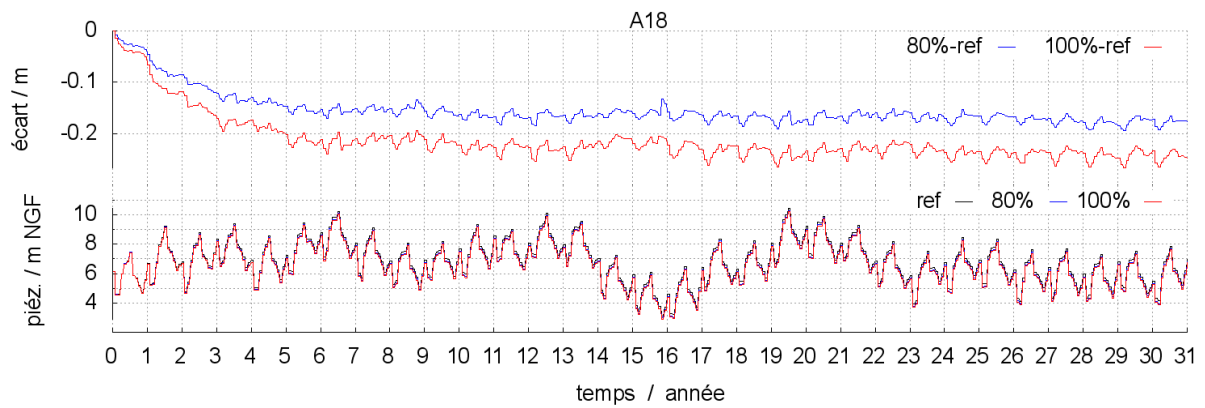
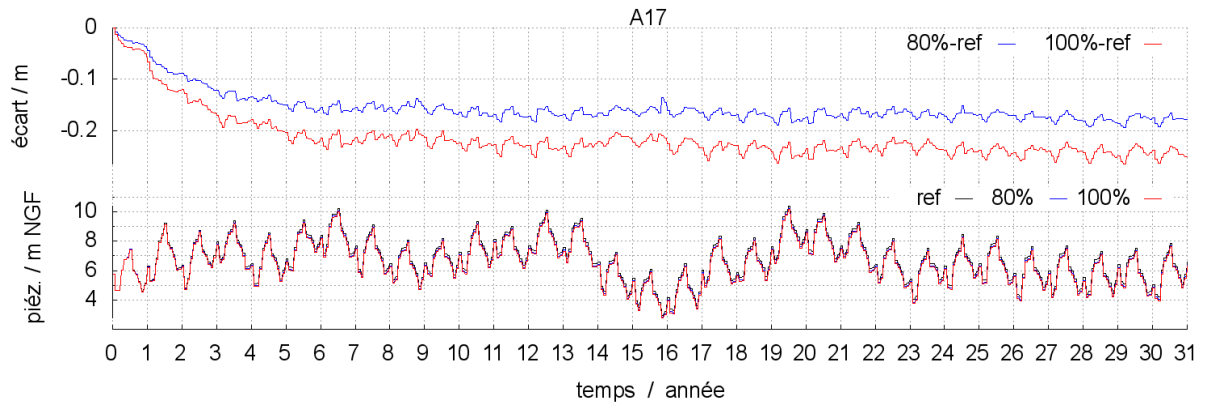


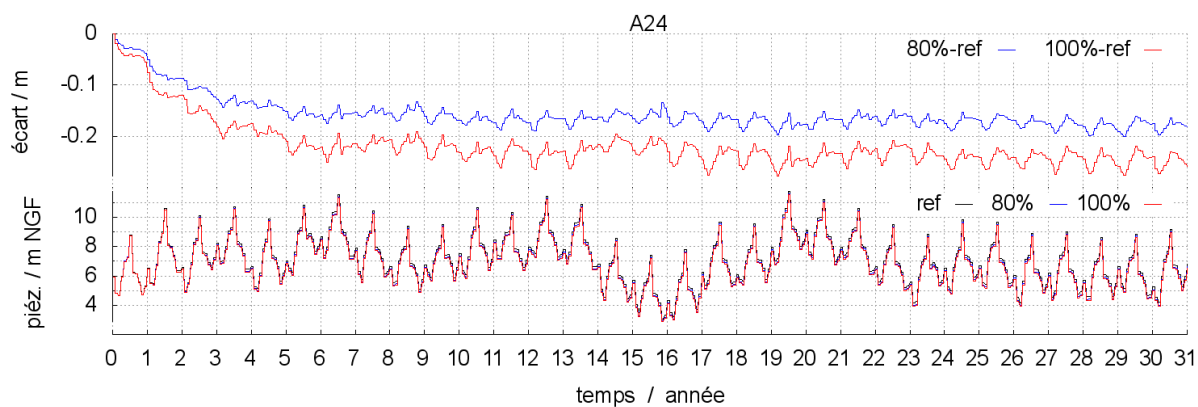
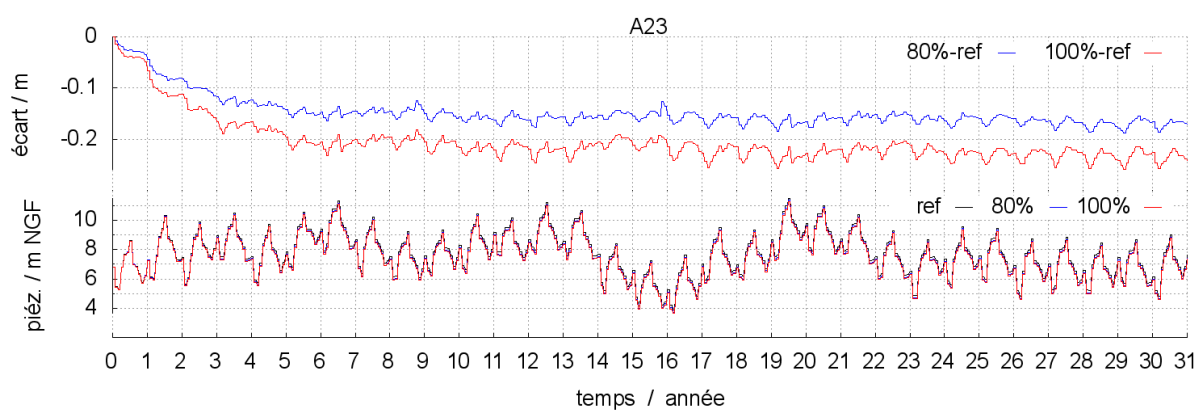
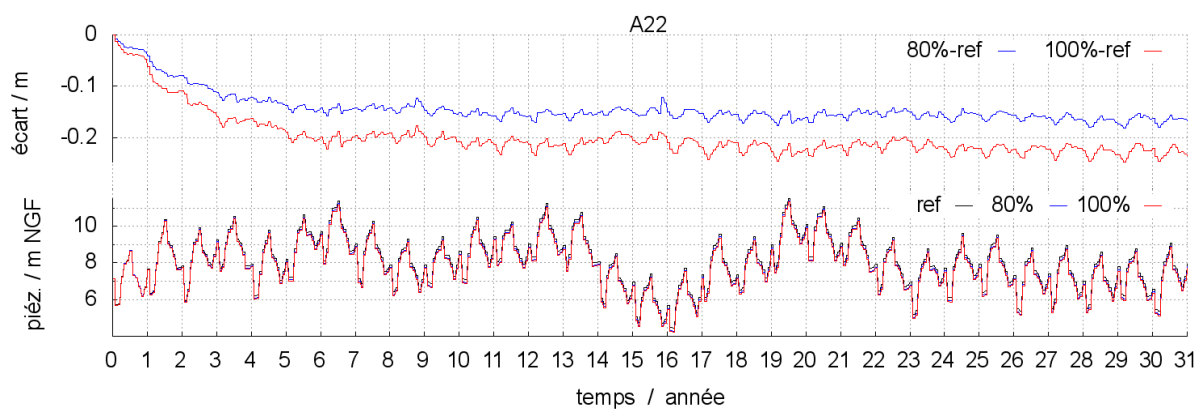
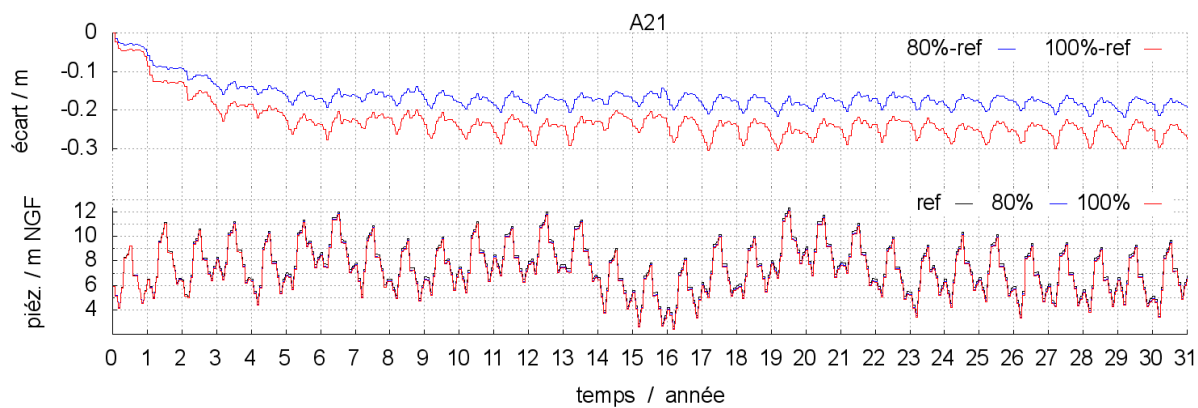


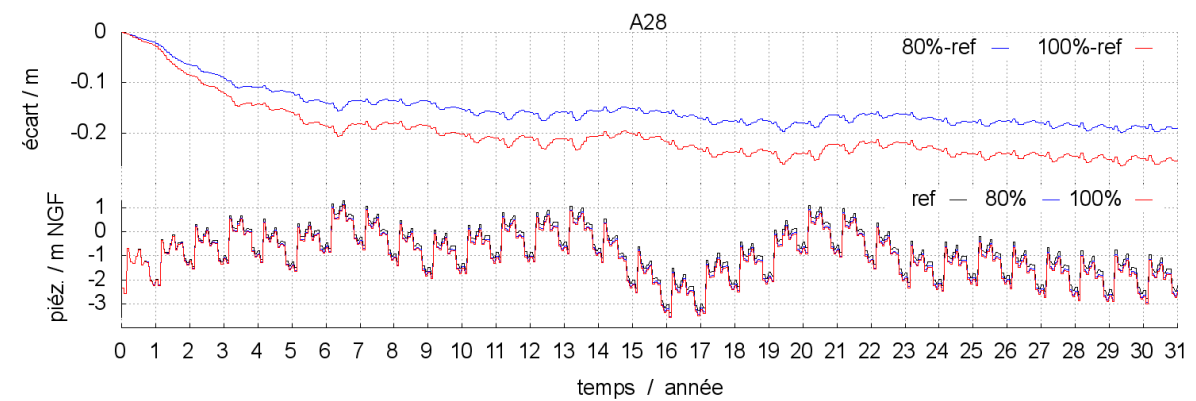
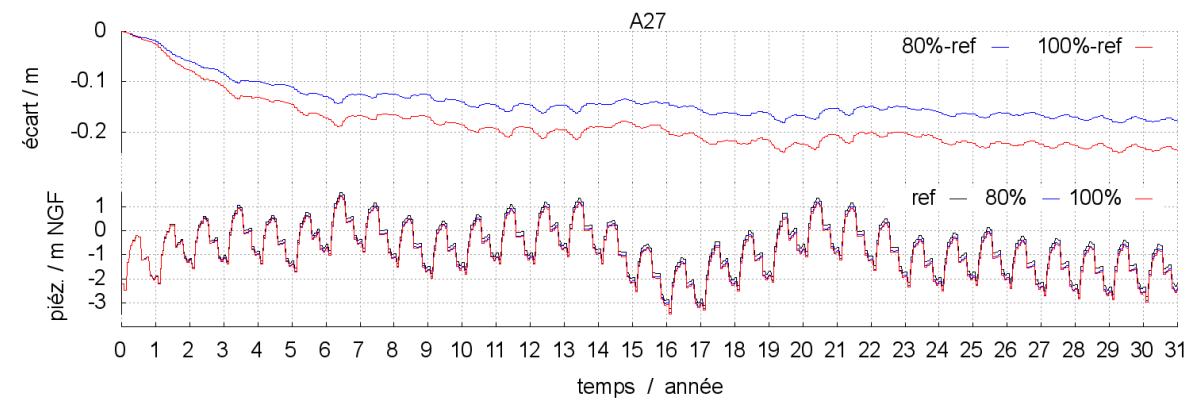
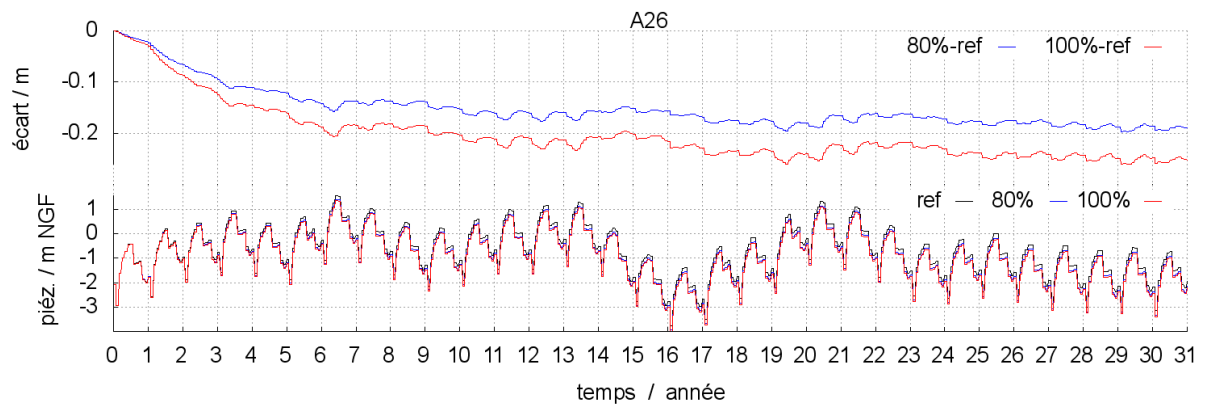
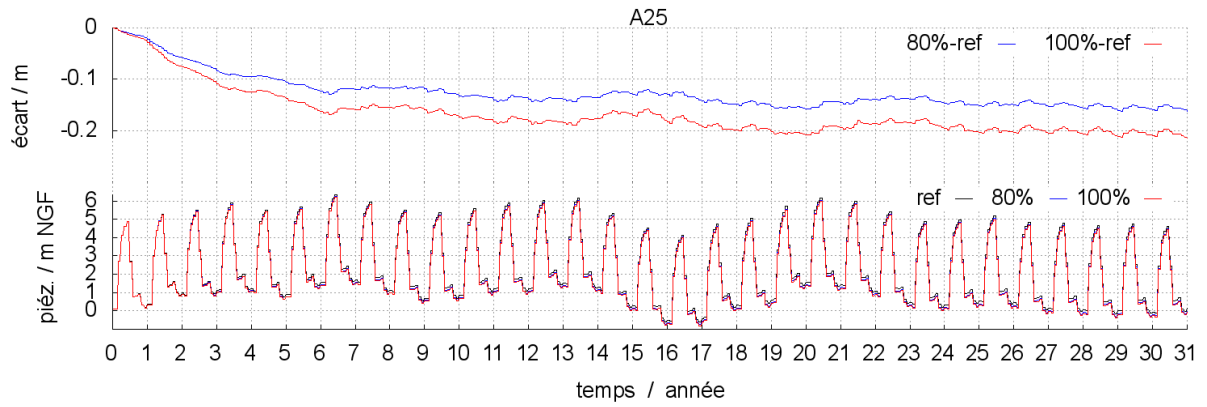


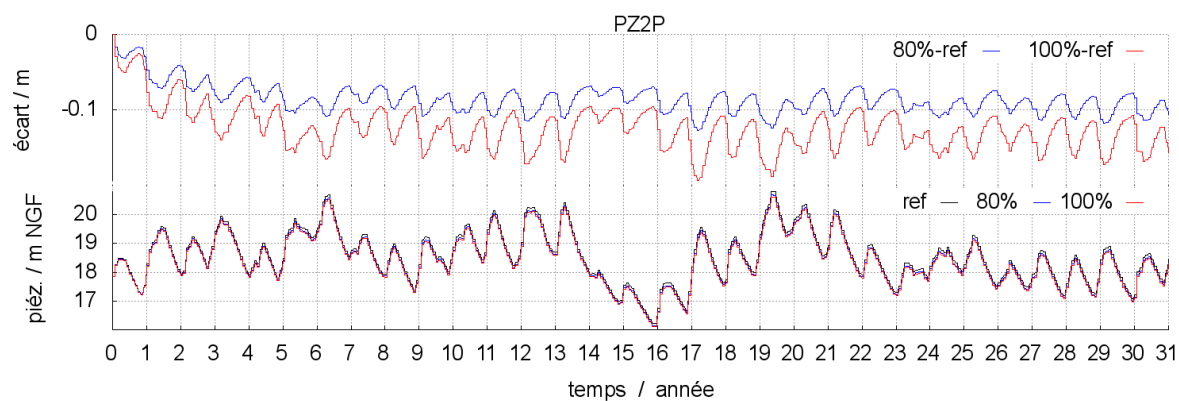
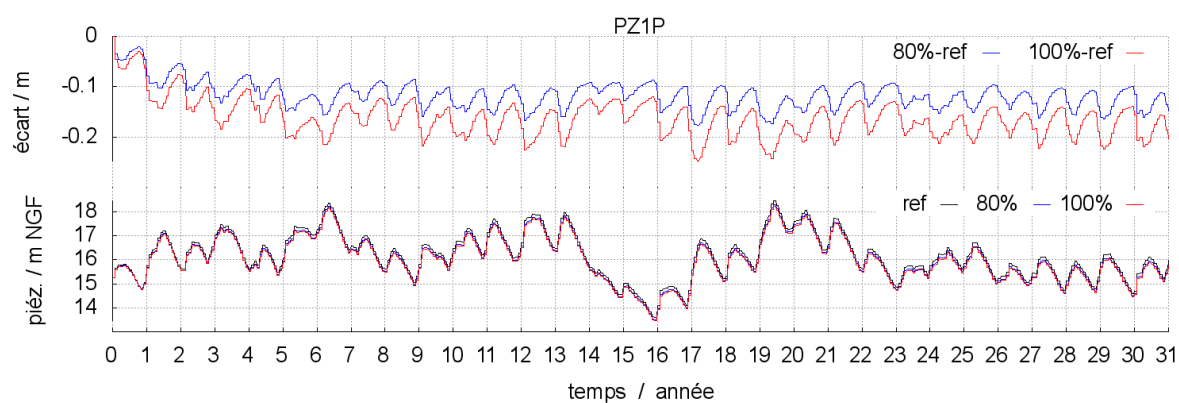
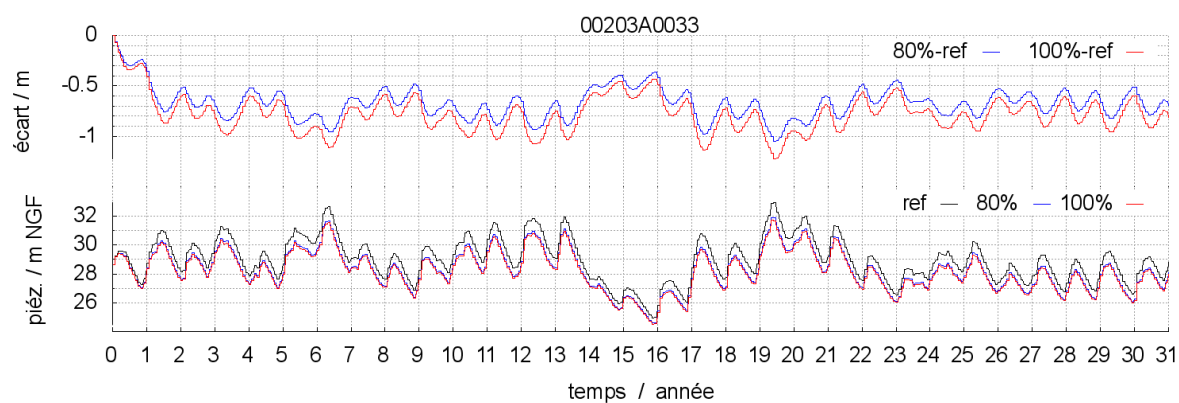
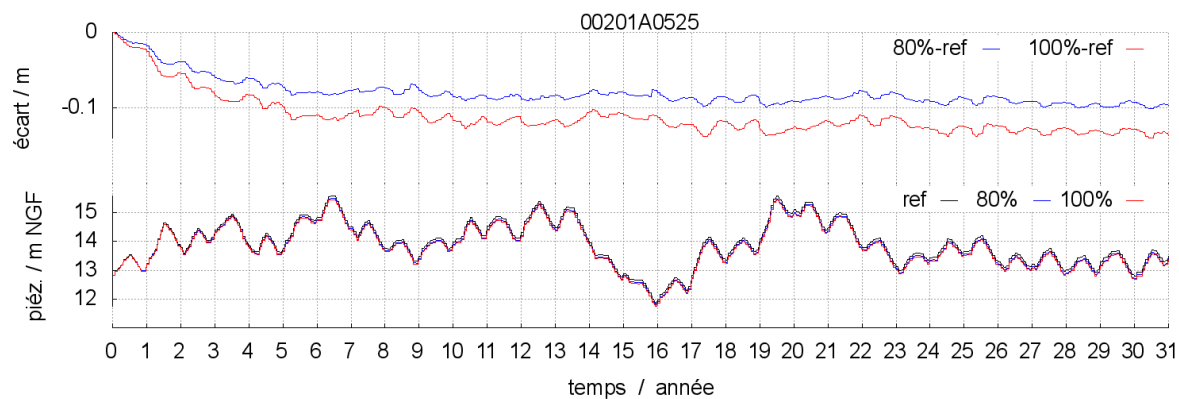


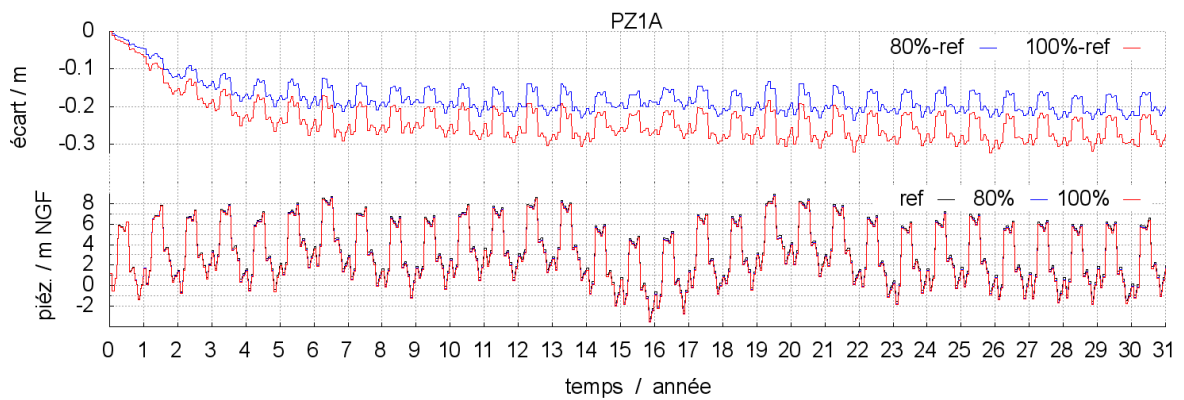
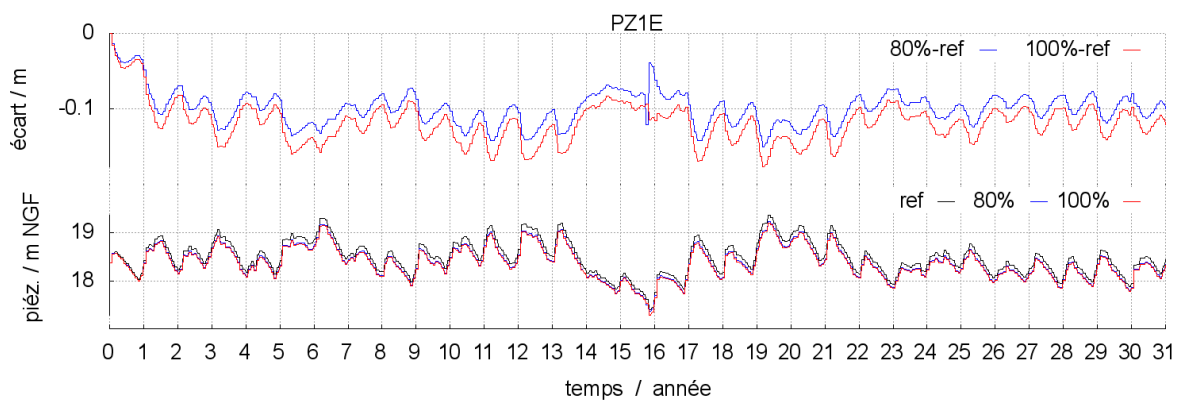
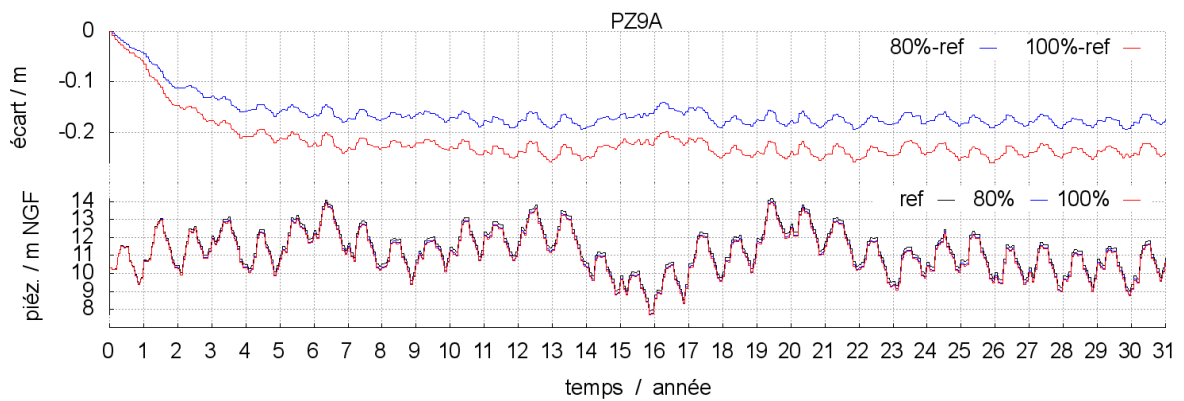
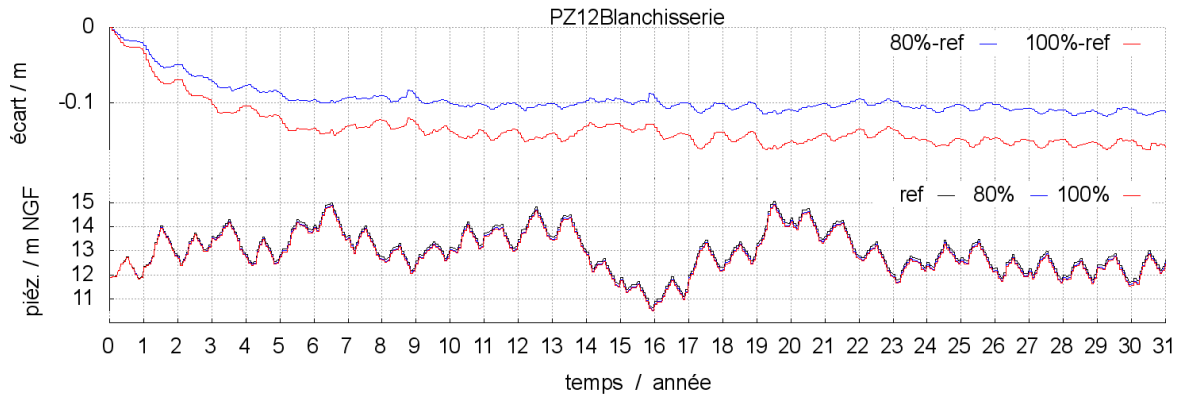


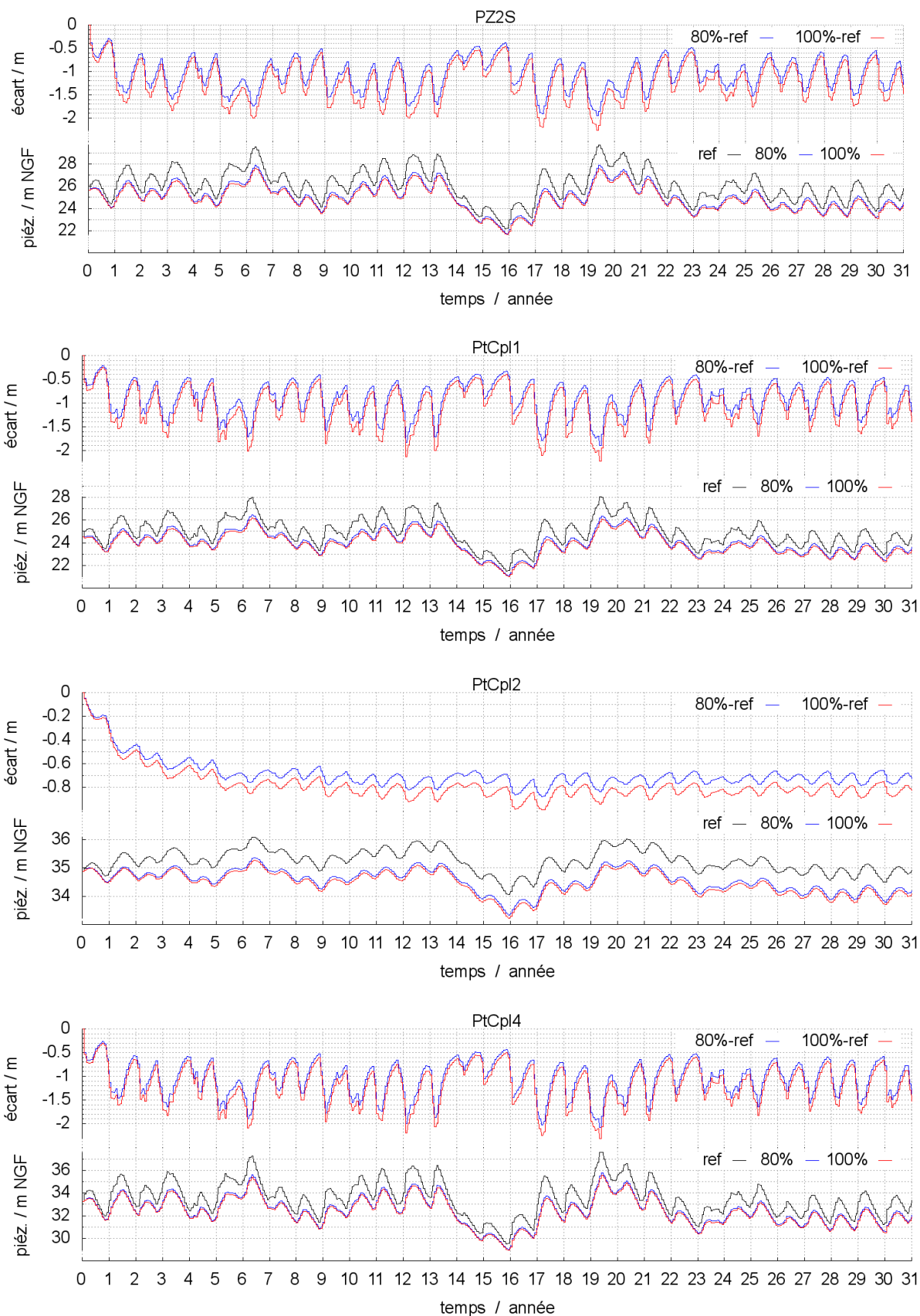


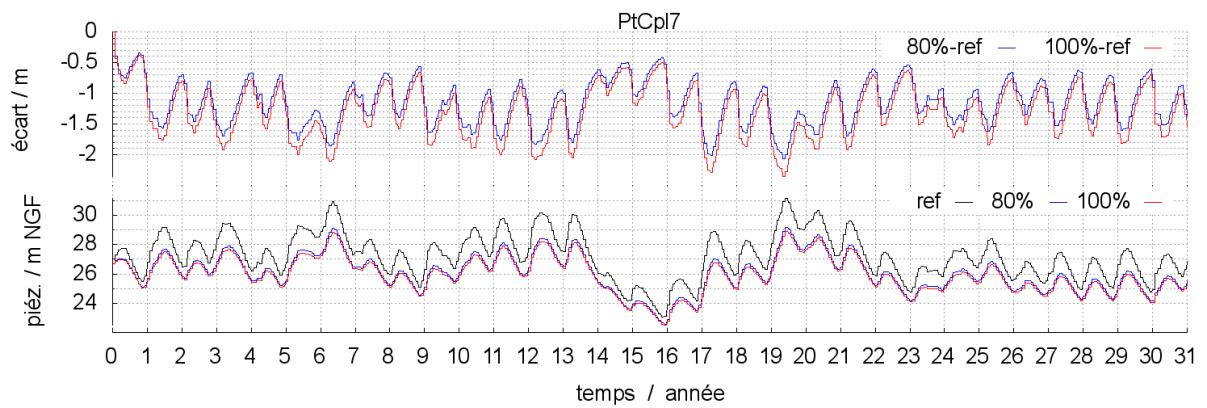
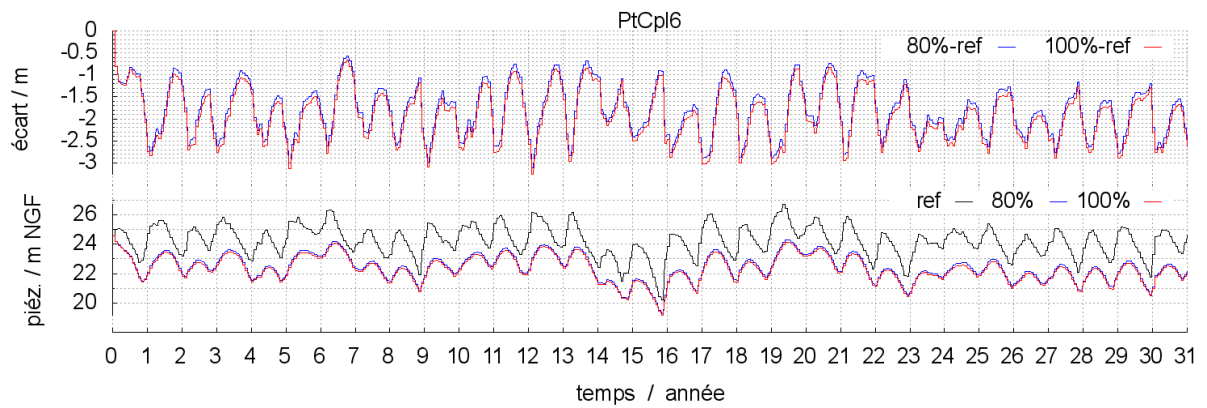
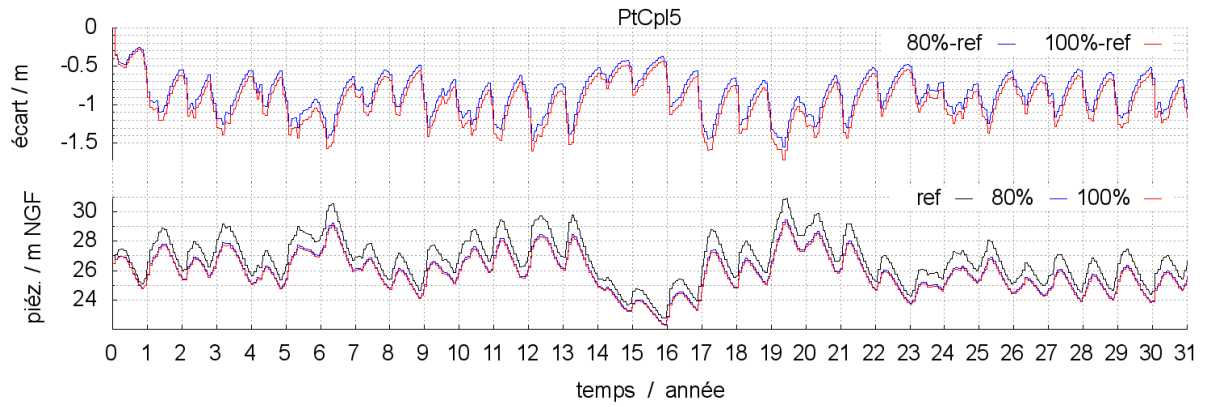












Annexe 2

Numéros BSS des ouvrages de prélèvement

Champs captants	Nom	Code BSS
Les Ansereuilles	A1	00201B0001/F1
Les Ansereuilles	A2	00201B0002/F2
Les Ansereuilles	A3	00201B0003/F3
Les Ansereuilles	A4	00201B0004/F4
Les Ansereuilles	A5	00201B0005/F5
Les Ansereuilles	A6BIS	00201B0406/F6BIS
Les Ansereuilles	A7	00201B0007/F7
Les Ansereuilles	A8	00201B0008/F8
Les Ansereuilles	A9	00201B0009/F9
Les Ansereuilles	A10	00201B0010/F10
Les Ansereuilles	A11	00201B0011/F11
Les Ansereuilles	A12	00201B0012/F12
Les Ansereuilles	A13	00201B0013/F13
Les Ansereuilles	A14	00201B0014/F14
Les Ansereuilles	A15	00201B0015/F15
Les Ansereuilles	A16	00201B0016/F16
Les Ansereuilles	A17	00201B0017/F17
Les Ansereuilles	A18	00201B0018/F18
Les Ansereuilles	A19	00201B0019/F19
Les Ansereuilles	A20	00201B0020/F20
Les Ansereuilles	A21	00201B0021/F21
Les Ansereuilles	A22	00201B0022/F22
Les Ansereuilles	A23	00201B0023/F23
Les Ansereuilles	A24	00201B0024/F24
Les Ansereuilles	A25	00201B0493/F25
Les Ansereuilles	A26	00201A0494/F26
Les Ansereuilles	A27	00201A0496/F27
Les Ansereuilles	A28	00201A0499/F28
Emmerin	E0	(réservoir)
Emmerin	E1	00146C0001/F1
Emmerin	E10	00146C0077/F10
Emmerin	E2	00146C0002/F2
Emmerin	E3	00146C0003/F3
Emmerin	E4	00146D0004/F4
Emmerin	E5	00146D0073/F5
Emmerin	E6	00146D0074/F6
Emmerin	E7	00146C0072/F7
Emmerin	E8	00146C0075/F8
Emmerin	E9	00146D0076/F9W
Houplin-Ancoisne	H1	00202A0122/F1
Houplin-Ancoisne	H10	00202A0131/F10
Houplin-Ancoisne	H11	00202A0407/F11

Champs captants	Nom	Code BSS
Houplin-Ancoisne	H2	00202A0123/F2
Houplin-Ancoisne	H3	00202A0124/F3
Houplin-Ancoisne	H4	00202A0125/F4
Houplin-Ancoisne	H5	00202A0126/F5
Houplin-Ancoisne	H6	00202A0127/F6
Houplin-Ancoisne	H7	00202A0128/F7
Houplin-Ancoisne	H8	00202A0129/F8
Houplin-Ancoisne	H9	00202A0130/F9
Sainghin-en-Weppes	SW1	00201A0117/F1
Seclin	S1	00202B0059/F1



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Direction régionale Nord-Pas-de-Calais
6 ter, rue Pierre et Marie Curie
59260 – Lezennes – France
Tél. : 03.20.19.15.40