



Le rapport complet de l'étude est en cours de finalisation par le BRGM ; il ne peut être mis à disposition

Extension du modèle de la nappe des grès du Trias inférieur aux affleurements des grès dans les Vosges

Note technique LOR17N090

Laurent Vaute

10 mars 2017

1. Contexte et objectifs

1. Contexte

Le modèle hydrogéologique de la nappe des Grès du Trias inférieur (GTI) est développé par le BRGM avec le logiciel MARTHE. Le modèle concerne principalement la nappe sur toute sa partie captive et sur sa partie libre dans le bassin houiller.

A la suite de l'actualisation du modèle hydrogéologique de la nappe des GTI dans le département des Vosges, effectuée en 2012-2013, il est apparu le besoin de pouvoir prévoir l'impact, sur les cours d'eau et sur la nappe libre des GTI, de la création de nouveaux forages en limite de la nappe captive des GTI, dans le périmètre du SAGE GTI.

En effet, dans la version actuelle du modèle, cette limite est modélisée sur la majorité de son linéaire comme une limite à niveau constant. Or, cette condition à la limite n'est pas adaptée si des prélèvements importants sont implantés à proximité immédiate des affleurements : le modèle ne peut pas donner d'indication sur l'impact de ces nouveaux forages sur le niveau de la nappe libre, ni sur le débit de la nappe drainé par les cours d'eau.

Par ailleurs, cette condition à la limite du modèle ne permet pas non plus de définir les volumes maximums prélevables dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI.

2. Objectifs du projet

La modification du modèle existant consiste à :

- étendre le modèle dans sa partie sud-est de manière à modéliser les premiers bassins versants en nappe libre recoupés par la limite des affleurements des grès (cf. carte ci-après),
- inclure une modélisation simple des échanges nappe-rivière dans la partie de nappe libre nouvellement incluse dans le modèle, afin de calculer un indicateur de l'impact des pompages en nappe captive sur les cours d'eau.

Ce projet sera mené en parallèle d'une étude sur les ressources de substitution menée par le SAGE GTI, qui visera à définir un schéma d'alimentation en eau potable du périmètre du SAGE, en prenant en compte plusieurs hypothèses de ressources de substitution. Les différents scénarios de prélèvements qui concerneront la nappe des GTI feront appel à des simulations effectuées sur le modèle étendu de la nappe.

3. Résultats attendus

L'extension du modèle hydrogéologique de la nappe des GTI dans le secteur du SAGE GTI permettra de l'utiliser dans ce secteur comme un modèle de gestion permettant de fournir une aide à la décision.

Les attentes des partenaires concernent les points suivants :

- 1) Fournir une réponse à la question de la pertinence d'inclure le secteur Sud-Est du SAGE GTI dans l'étude des ressources de substitution (schéma directeur).
- 2) Définir le volume prélevable du secteur Sud-Est du SAGE GTI,
- 3) Le cas échéant (cf. point ci-dessus), préciser l'impact de nouveaux forages de substitution sur la nappe libre et captive et sur les cours d'eau de la nappe libre,
- 4) Réaliser différentes simulations qui seront précisées par le comité de pilotage de l'étude à partir de juin 2016.
- 5) Apporter des précisions sur la position de la ligne de crête piézométrique entre les deux bassins Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée-Corse.

La présente note d'avancement a pour objet de répondre aux points 1 et 3 indiqués ci-dessus, en fournissant une première évaluation de l'impact de l'implantation de nouveaux forages de substitution sur la nappe libre et captive et sur les cours d'eau de la nappe libre.

2. Avancement du projet

1.1. EXTENSION DU PERIMETRE DU MODELE ET RECHERCHE DE DONNEES

1.1.1. Définition de la nouvelle limite sud-est du modèle

Le modèle hydrogéologique existant a été étendu vers le sud-est du département des Vosges de manière à englober totalement les premiers bassins versants recoupant la limite entre la nappe sous couverture et la nappe libre des GTI, ainsi que deux bassins versants supplémentaires se situant sur l'emprise d'un modèle géologique simplifié du territoire du SAGE GTI étendu en cours de développement (P. Mourlanette, « réalisation d'un modèle géologique 3D simplifié sur le périmètre du SAGE GTI étendu », rapport de stage, septembre 2015).

La nouvelle limite sud-est du modèle GTI s'ajuste ainsi aux contours des bassins versants hydrographiques du Coney de sa source jusqu'à Fontenoy le Château et de la Saône de sa source jusqu'à sa confluence avec le Coney (figure 1). De nouveaux secteurs ont été définis dans ce modèle étendu (figure 2).

1.1.2. Conversion du modèle dans le système de coordonnées Lambert 93

Le modèle régional existant était construit dans le système de coordonnées Lambert 2 étendu. Il a été converti dans le système de coordonnées Lambert 93 en mètres, de manière à respecter la norme française actuelle et à faciliter les échanges de données avec les différents producteurs. Ce travail important en volume a nécessité de reconstruire l'ensemble des fichiers numériques du modèle MARTHE.

1.1.3. Modification du nombre de couches du modèle

Le nombre de couches du modèle régional a augmenté de 1 à 4 couches, afin d'assurer la cohérence avec les travaux de modélisation en cours sur le secteur du bassin houiller. Ces couches sont inactives ailleurs que dans le bassin houiller, sauf dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI dans lequel les tests de calage et l'examen exhaustif des données géologiques et hydrogéologiques disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, ont montré l'importance de considérer une couche d'alluvions semi-perméables dans les vallées amont du Madon et de l'Illon et de leurs affluents, ainsi que dans les vallées de la Saône amont (figure 3). Ces couches pourront si nécessaire être activées plus largement dans une future version du modèle.

1.1.4. Modification du toit et du substratum de l'aquifère

Les données qui ont servi de base à la construction d'une version préliminaire de modèle géologique du SAGE GTI ont été reprises et intégrées au modèle hydrogéologique des GTI, de manière à redéfinir le toit et le substratum de l'aquifère des GTI. Cette phase a représenté une somme de travail importante en raison de la complexité de la structure géologique dans le secteur du SAGE GTI étendu aux affleurements.

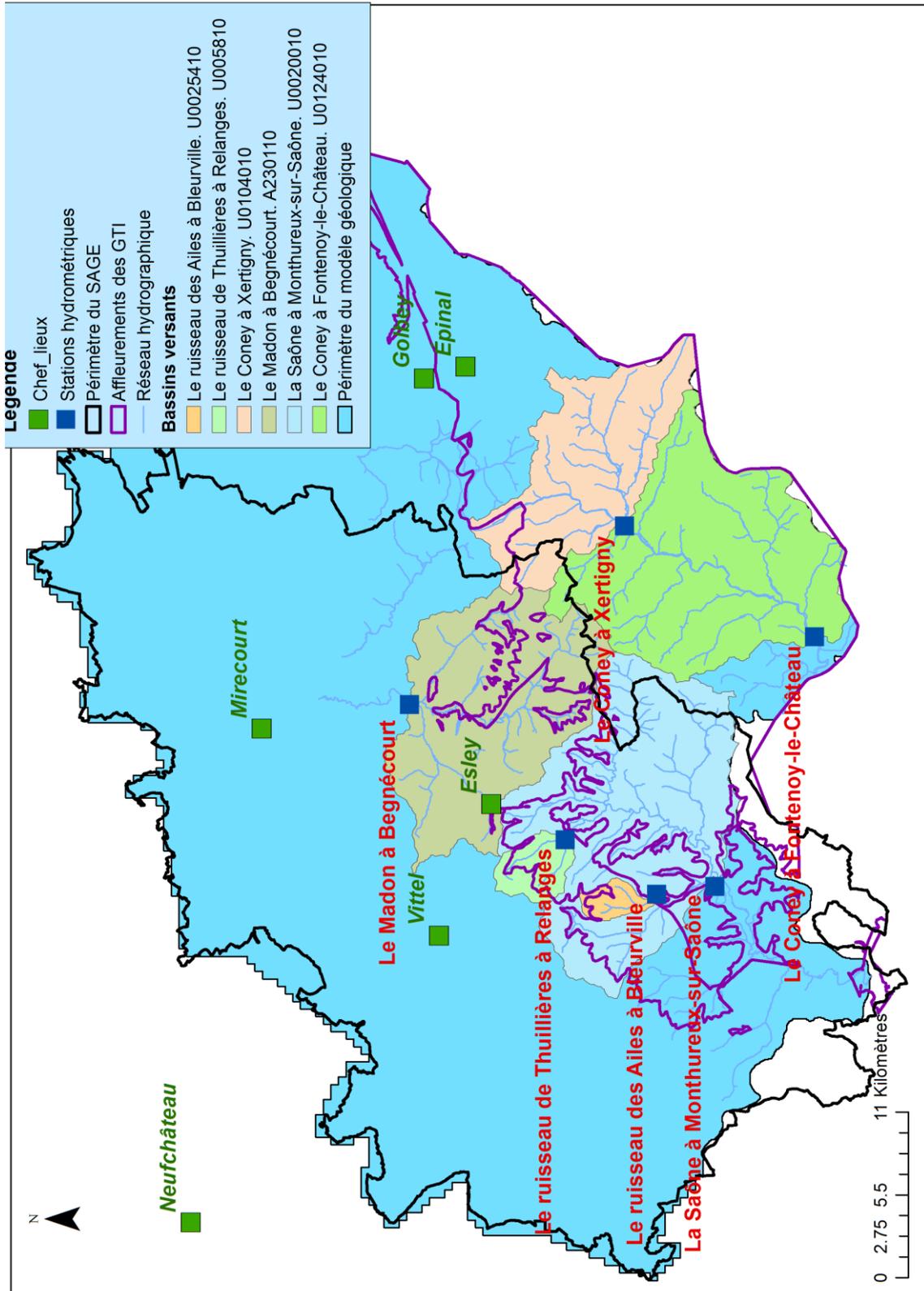


Figure 1 : Extension du modèle GTI aux affleurements dans les Vosges.

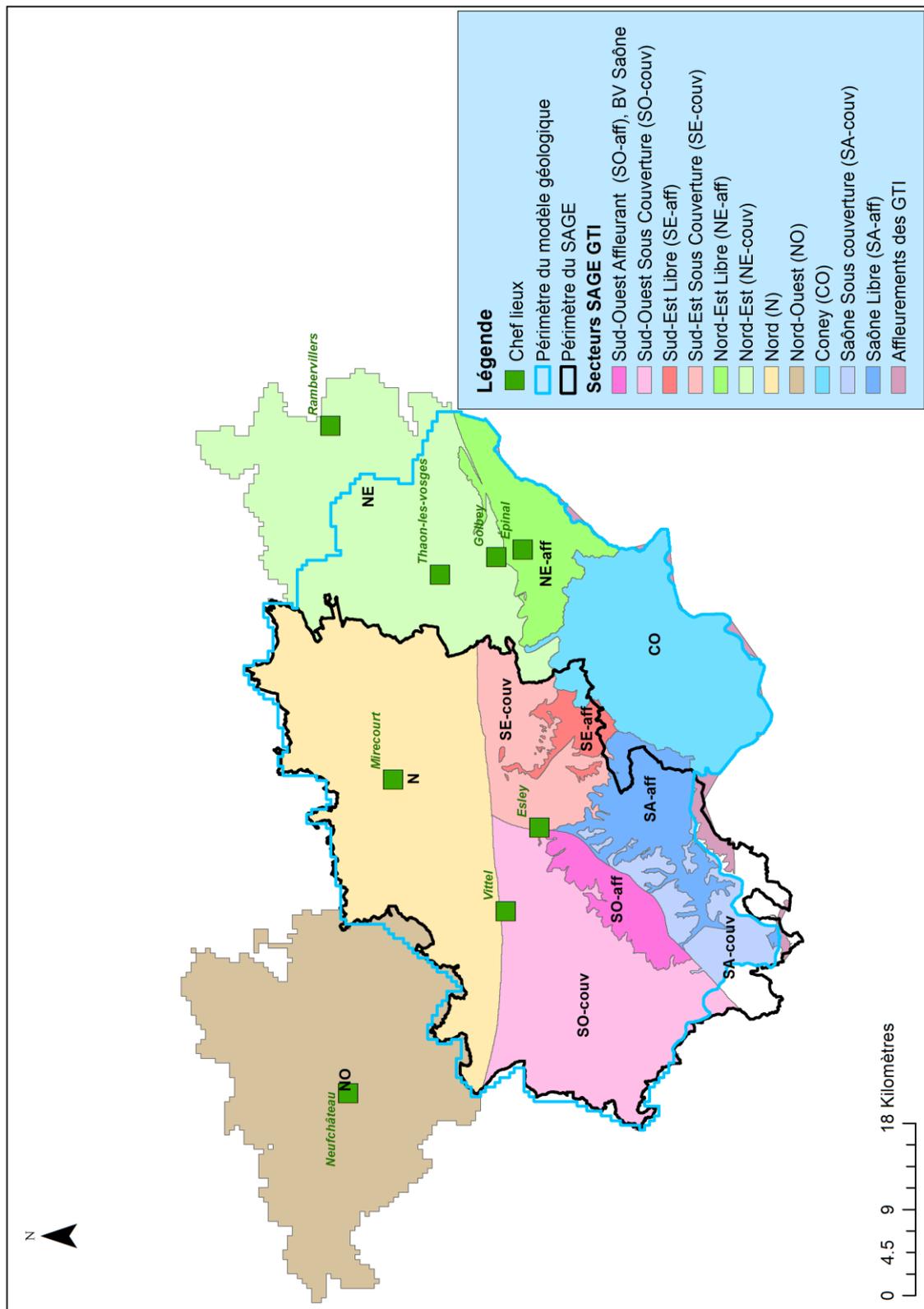


Figure 2 : Secteurs du SAGE GTI.

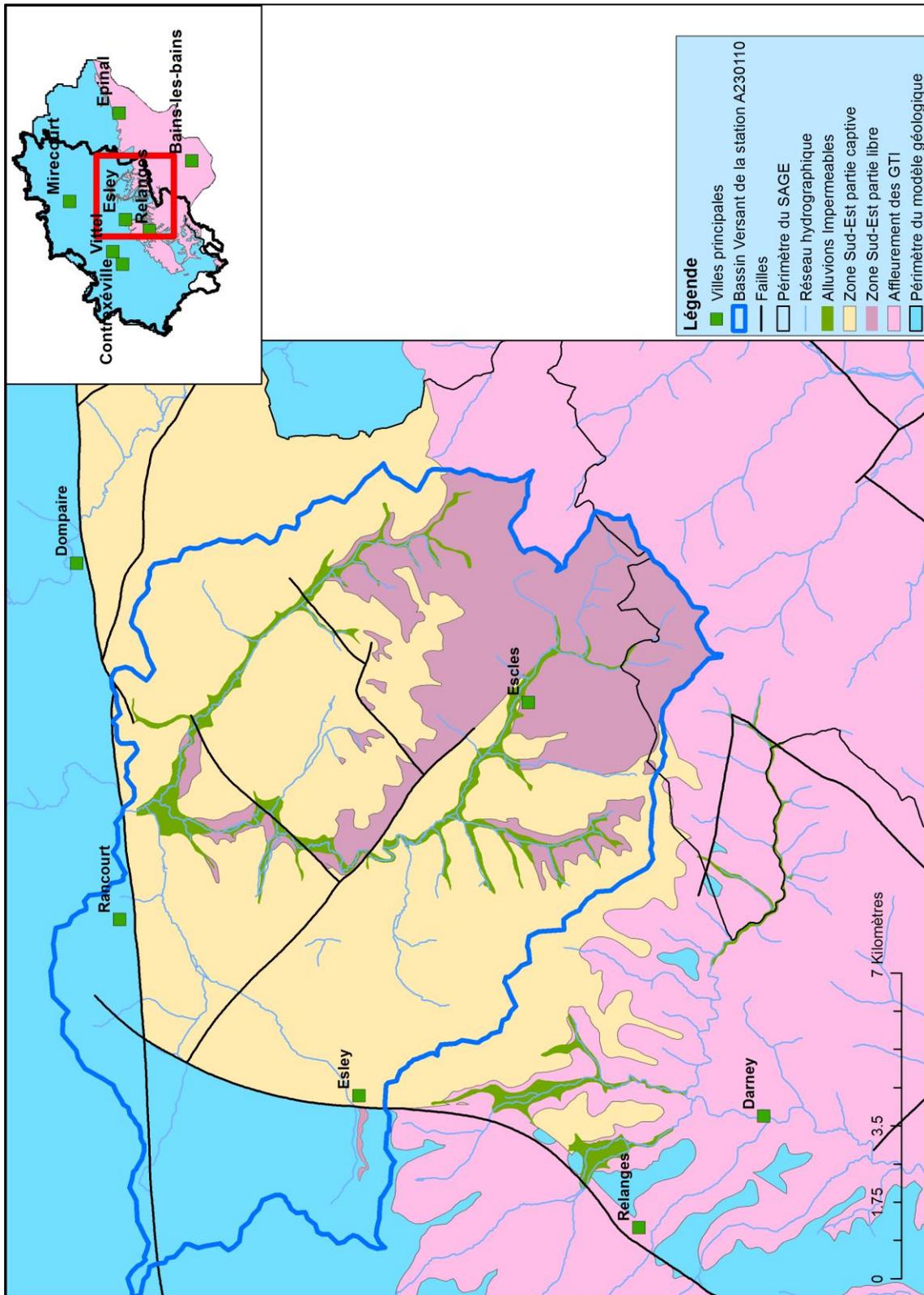
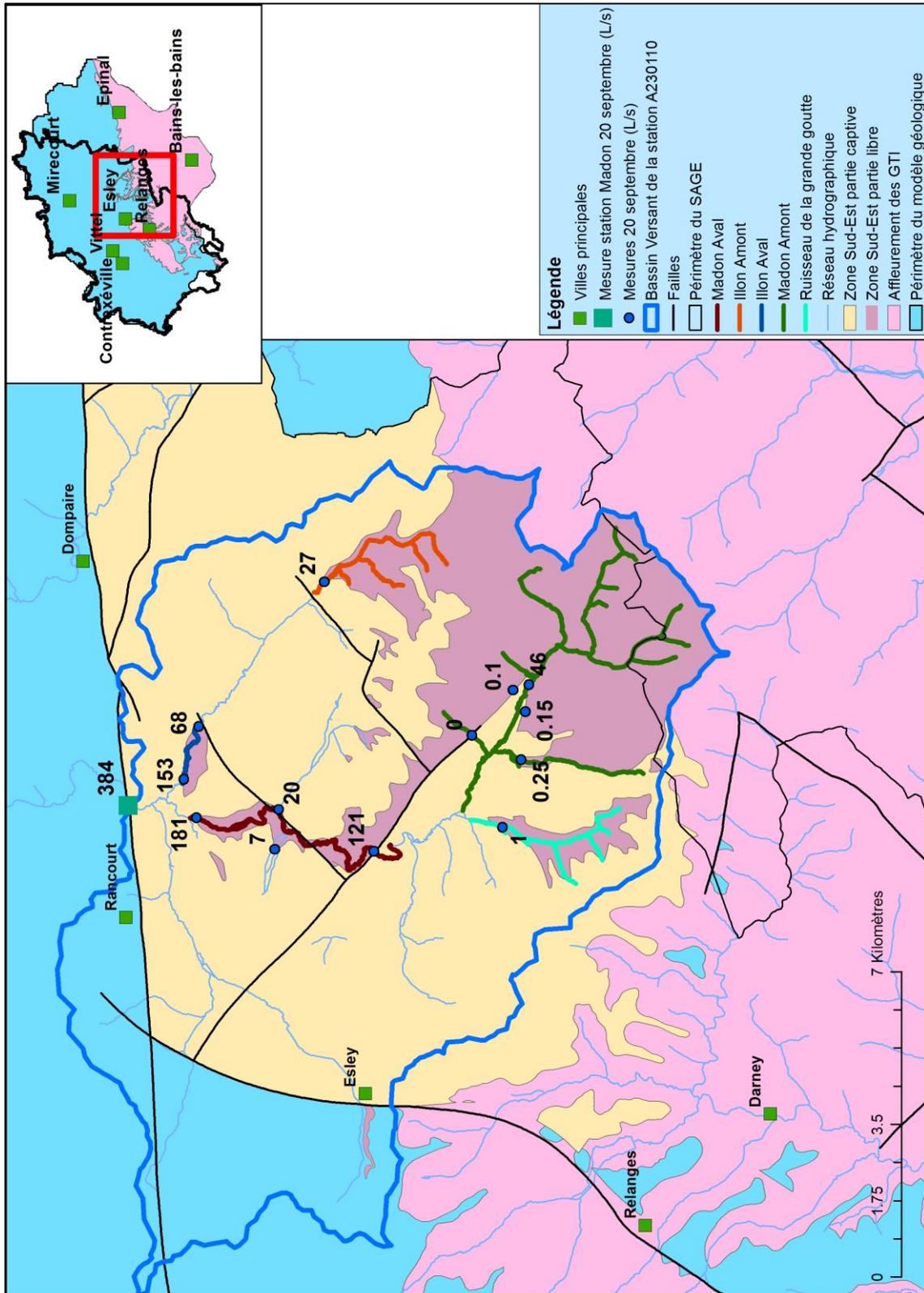


Figure 3 : Alluvions semi-perméables prises en compte dans le modèle étendu.



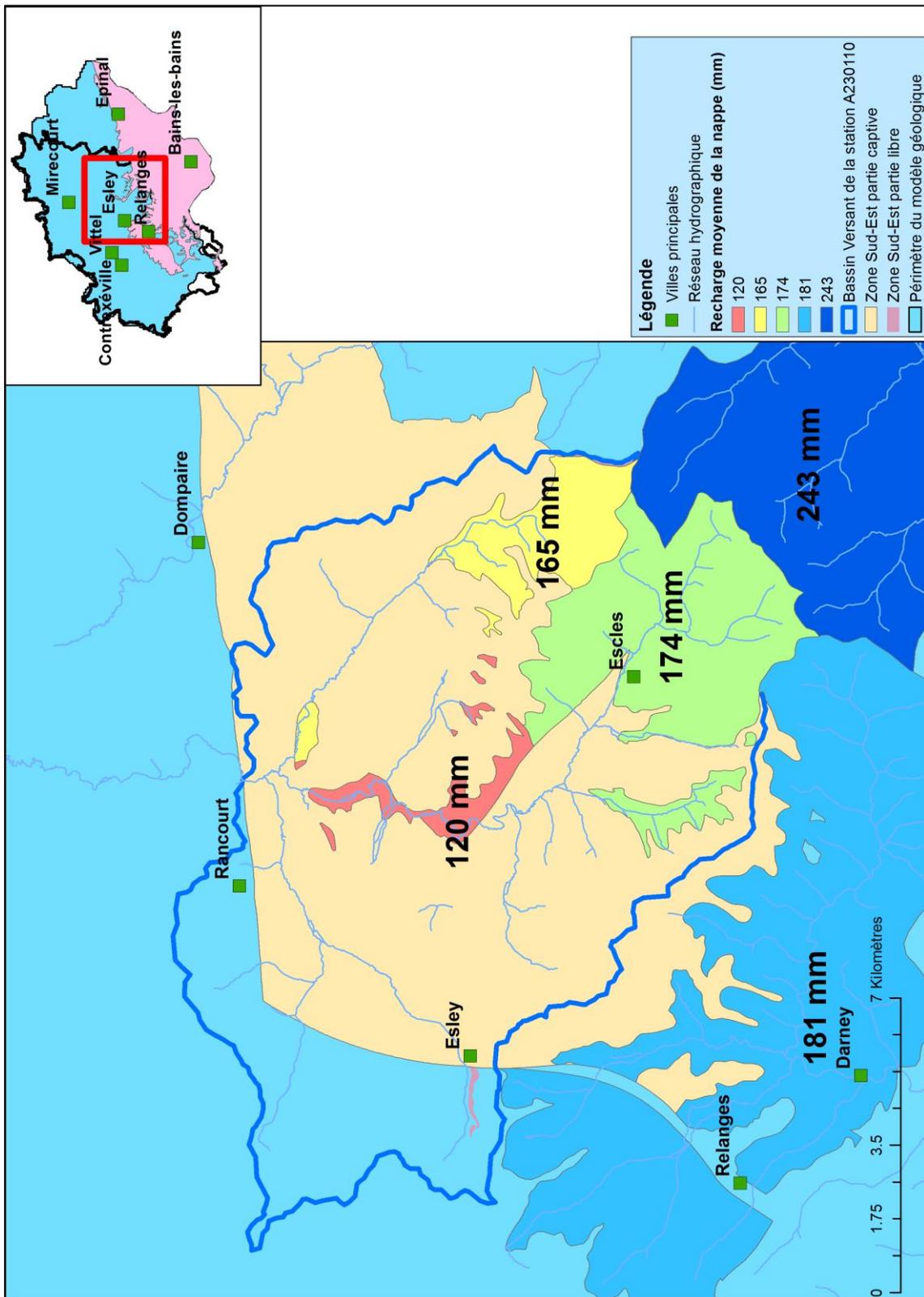


Figure 5 : Moyenne interannuelle de l'infiltration calculée pour le secteur Sud-Est.

1.1.5. Modification de la taille de maille sur le territoire du SAGE GTI et sur les nouveaux affleurements modélisés

La taille de maille du modèle initialement de 500 m sur le territoire du SAGE GTI et sur les nouveaux affleurements modélisés a été diminuée à 50 m afin d'améliorer la précision des rendus sur le territoire du SAGE GTI et l'extension du modèle sur les affleurements.

1.1.6. Collecte de données

Le modèle initial était actualisé avec des données datant de 2010.

Les nouvelles données nécessaires à la modélisation ont été recherchées sur le nouveau périmètre du modèle se situant dans le département des Vosges jusqu'à la fin de l'année 2013. Les données collectées sont les suivantes :

- données de suivi piézométrique des points de la nappe des GTI appartenant au réseau piézométrique de bassin Rhin-Meuse,
- données des campagnes piézométriques de la nappe des GTI de 2010 et 2012,
- autres données piézométriques ponctuelles présentes dans la BSS ou présentes dans les rapports d'exploitations des producteurs d'eau potable ou industrielle,
- données de volumes annuels prélevés (jusqu'à fin 2013) compilés par les Agences de l'eau Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée-Corse,
- données de pluie, évapotranspiration potentielle et température Météo-France,
- données des 6 stations hydrométriques existantes sur les bassins versants hydrographiques à modéliser (cf. figure 1 et tableau ci-dessous pour les périodes disponibles)

Code de la station	Libellé de la station	Dép localisation station	Hauteurs Données disponibles	Débits Données disponibles
U0005810	Le ruisseau de Thuillières à Relanges	Vosges (88)	1968 - 1999	1968 - 1999
U0020010	La Saône à Monthureux-sur-Saône	Vosges (88)	1986 - 2017	1987 - 2017
U0025410	Le ruisseau des Ailes à Bleurville	Vosges (88)	1968 - 1989	1968 - 1989
U0104010	Le Coney à Xertigny	Vosges (88)	1976 - 2017	1973 - 2017
U0124010	Le Coney à Fontenoy-le-Château	Vosges (88)	1986 - 2017	1987 - 2017
A5230110	Le Madon à Begnécourt [Heucheloup]	Vosges (88)	2010 - 2017	2010 - 2017

- débits d'étiage mesurés le 20 septembre 2016 sur les bassins versants du Madon et de l'Illon à l'amont de leur confluence (figure 4),
- données du catalogue des débits d'étiage permettant d'obtenir un ordre de grandeur du débit de drainage en d'autres points du réseau hydrographique.

Ces données ont été traitées et mises en forme sous la forme de fichiers numériques pouvant être intégré dans le modèle étendu.

1.2. AMELIORATIONS DU MODELE EXISTANT

Les améliorations qui ont été apportées au modèle ont pour but de préciser la dynamique d'infiltration de l'eau de pluie vers la nappe ainsi que les relations nappe-rivière dans la partie libre de la nappe.

1.2.1. Calcul de l'infiltration vers la nappe

L'infiltration spatialisée sur la nappe libre a été calculée par la méthode de Thornthwaite à la maille carrée de 8 km x 8 km et au pas de temps journalier à l'aide du logiciel ESPERE (BRGM), qui fournit une aide au calcul de la pluie efficace et de l'infiltration par comparaison des résultats de différentes méthodes.

L'infiltration prise en compte dans le modèle étendu est ensuite recalculée par bassin versant en faisant la moyenne des valeurs d'infiltration de chaque maille carrée de 8 x 8 km intersectant un bassin versant, la moyenne étant pondérée par la proportion de surface de chaque maille carrée se trouvant dans le bassin versant (figure 5). L'infiltration s'applique uniquement aux affleurements des niveaux géologiques gréseux compris entre le Muschelkalk inférieur (grès Coquiller) et le grès Vosgien inclus (les GTI incluent tous ces niveaux ; il peut y avoir des variations de perméabilité verticale au sein de l'ensemble de la formation des GTI).

1.2.2. Relations nappe-rivières et calcul du débit de drainage de la nappe des GTI

Dans le nouveau modèle étendu, les relations nappe-rivière ont tout d'abord été modélisées sous la forme de « tronçons de cours d'eau », au pas de temps annuel (pas de temps du modèle régional). Cette fonctionnalité du code de calcul permet de calculer les débits d'échange nappe-rivière en tout point du réseau hydrographique, dès lors qu'il est défini dans le modèle. Les débits échangés peuvent l'être dans les deux sens, de la nappe vers la rivière (cas général) ou de la rivière vers la nappe (cas d'une rivière perchée ou d'une baisse importante de la nappe sous la rivière).

Toutefois, après les premiers tests de calage, il est apparu que la mise en œuvre de cette fonctionnalité est pénalisante en termes de temps de calcul, tout en n'apportant pas d'informations suffisamment utiles à la résolution du problème posé. Il a ainsi été préféré de modéliser les relations nappe-rivières uniquement dans le sens nappe → rivière, sous la forme de « mailles de drainage » : ainsi, lorsque le niveau piézométrique dans une maille affleurante dépasse la cote du toit de la maille (qui en nappe libre représente le sol), le débit nécessaire pour ramener le niveau à la cote du toit de la maille est calculé et comptabilisé par le modèle comme débit de drainage qui alimente le cours d'eau.

Avec ces approches simplifiées, le débit total s'écoulant dans une rivière (débit de ruissellement + débit de drainage de la nappe) n'est pas calculé par le modèle. Pour confronter les débits drainés calculés par le modèle aux données des stations hydrométriques il est nécessaire de calculer indépendamment le débit drainé (débit de base) s'écoulant aux 6 stations hydrométriques disposant de chroniques de débit mesuré dans la rivière. Le logiciel GARDENIA (modélisation globale de bassin versant) a été mis en œuvre à cet effet. Le débit enregistré aux 6 stations a été décomposé en un débit de ruissellement d'une part, et deux débits de drainage souterrain de la nappe d'autre part. Le calcul de décomposition a été effectué au pas de temps journalier. Le volume annuel drainé aux 6 stations a ensuite été calculé, et confronté aux résultats fournis par le modèle de la nappe des GTI, lors de la phase de calage du modèle.

La figure 6 ci-après montre un exemple de résultat du calage obtenu pour la station hydrométrique du Madon A5230110 à Begnécourt. Le meilleur calage est obtenu en considérant 3 types d'écoulements : ruissellement, écoulement souterrain lent, écoulement souterrain très lent. Compte tenu des caractéristiques hydrodynamiques habituelles des 2 types d'aquifères constituant le bassin versant du haut Madon (grès poreux et calcaires marneux plus ou moins fracturé et/ou localement karstique), on fait l'hypothèse que le débit souterrain très lent représente essentiellement le drainage de la nappe des GTI, tandis que l'écoulement lent représente le drainage des calcaires du Muschelkalk et ne concerne pas le modèle MARTHE.

Après calage, chaque modèle hydrologique GARDENIA permet de calculer le débit de drainage de la nappe des GTI à une station hydrologique pour toute période où l'on dispose des données d'entrées qui ont servi à le construire, soit la pluie, la hauteur de neige, l'ETP et la température sur le secteur Sud-Est. Les débits de drainage ont ainsi été calculés sur toute la période de calage du modèle hydrogéologique MARTHE (1977-2014), pour les 6 stations hydrologiques disponibles.

1.2.3. Répartition spatiale du drainage de la nappe des GTI dans le secteur Sud-Est

Pour améliorer la représentativité spatiale du modèle MARTHE dans le secteur Sud-Est, il a été jugé nécessaire d'affiner le calcul par zone de drainage en utilisant les données d'une nouvelle campagne de jaugeage réalisée le 20 septembre 2016. La carte de la figure 5 montre les 5 zones de drainage définies ainsi que les résultats de la campagne de jaugeage. La figure 7 montre la chronique des données de débit journalier enregistrée à la station de Begnécourt au mois de septembre 2016.

L'objectif est de calculer pour chaque zone de drainage du secteur Sud-Est du SAGE GTI des chroniques de débit de drainage dérivées de celle de la station de Begnécourt, pouvant être utilisées comme chroniques de référence et comparées aux débits de débordement du modèle hydrogéologique MARTHE.

Nota bene : après les premiers essais de calage, la zone du ruisseau de la Grande Goutte n'a plus été considérée comme une zone de drainage, car les alluvions y sont considérées comme imperméables et il ne peut donc pas exister de relations nappe-rivière dans cette zone.

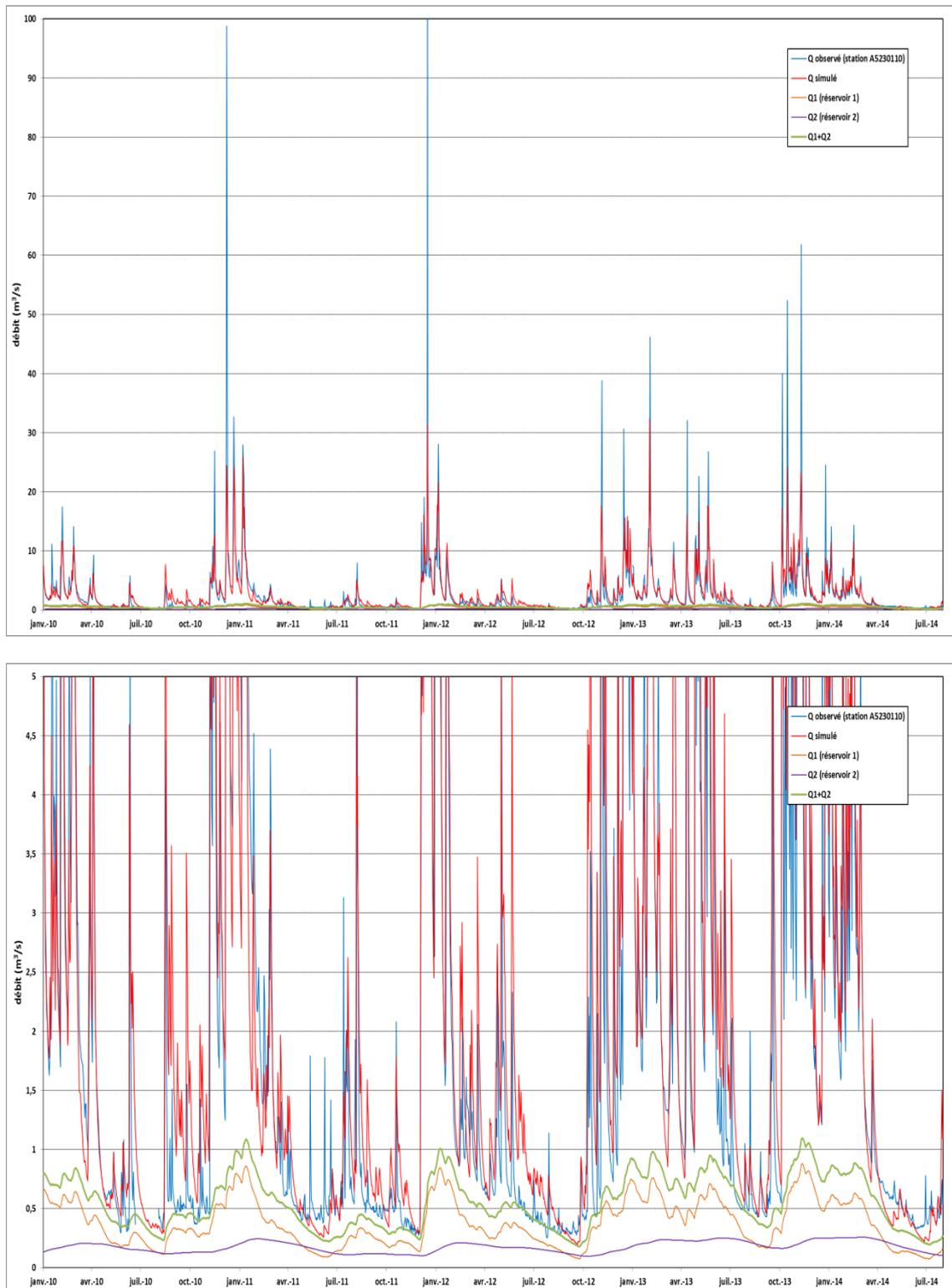


Figure 6 : Calage du débit mesuré à la station hydrométrique du Madon A5230110 à Begnécourt par un modèle hydrologique GARDENIA sur la période 2010-2014 (en bleu le débit mesuré à la station, en rouge le débit total calculé, en orange le débit de drainage souterrain lent, en violet le débit de drainage souterrain très lent, en vert la somme des deux débits de drainage souterrain).

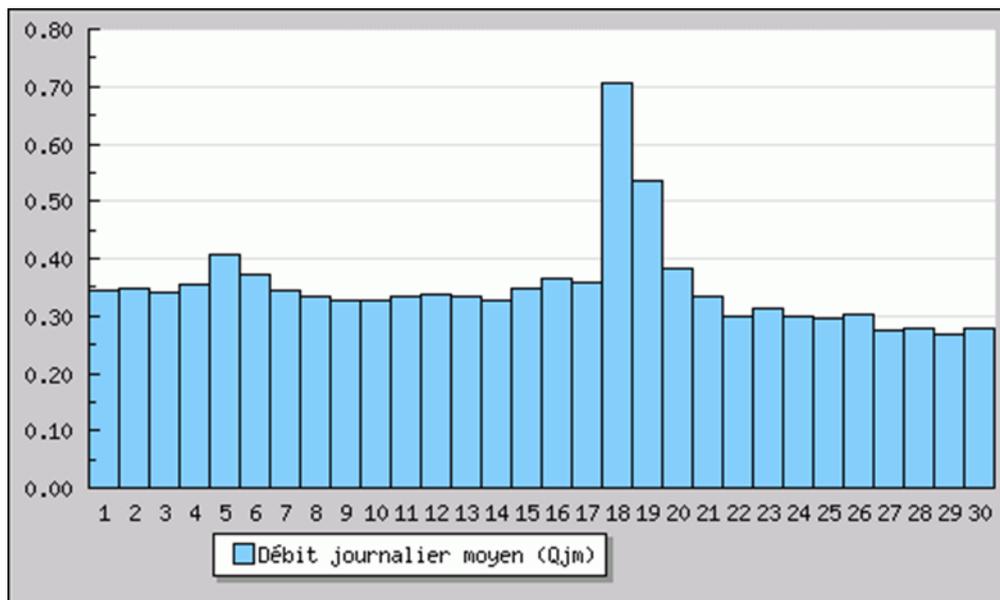


Figure 7 : Mesures journalières du mois de septembre 2016 (source : banque Hydro).

La méthode de calcul spécifique au secteur Sud-Est du SAGE GTI est la suivante :

- a) Le débit drainé par chaque zone de drainage du secteur Sud-Est est calculé par différence : « débit aval » moins « débit amont » moins « débit affluents » pour le 20/09/2016 (les points de mesure ont été placés de manière à permettre ce calcul).
- b) La somme de ces débits de drainage par zone donne le débit total « drainage GTI » à la station hydrométrique de Begnécourt : le calcul montre que ce débit représente 50% du débit d'étiage mesuré à la station ce jour-là.
- c) On fait l'hypothèse que ce ratio est représentatif des étiages : chaque année à l'étiage, le débit total provenant des GTI mesuré à la station vaudrait alors 50% de la valeur mesurée à la station.
- d) Le modèle Gardenia pour la station de Begnécourt est calé de manière à ce que ce ratio soit respecté sur les années de calage (2010-2014) : le débit souterrain très lent représente alors le débit drainé par les GTI à la station : c'est la chronique de référence.
- e) Il faut ensuite répartir le débit de cette chronique de référence sur les 4 zones de drainage : on se sert donc du ratio « débit de drainage GTI d'une zone » / « somme des débits de drainage GTI » pour calculer les % à appliquer à la chronique de référence, puis ces % sont appliqués pour calculer les chroniques de référence de chacune des zones de drainage.

1.2.4. Etablissement d'une relation entre le débit annuel de drainage et le débit minimum mensuel de drainage pour la station du Madon à Begnécourt

Le pas de calcul du modèle hydrogéologique de la nappe des GTI (modèle MARTHE) est de 1 an, donc le débit de drainage calculé par ce modèle est une moyenne annuelle du débit de drainage. Or l'impact d'un pompage sur le débit d'étiage des rivières sera maximal à l'étiage. Il est donc nécessaire d'établir une relation entre le débit moyen annuel de drainage obtenu avec MARTHE et

un débit minimum de drainage défini sur une période pertinente pour estimer l'impact de nouveaux prélèvements : *dans une première approche il est proposé de retenir le mois comme période de temps pour calculer ce débit minimum*, compte tenu notamment des contraintes de calcul avec le modèle hydrogéologique, dont certaines simulations pourraient être réalisées avec ce pas de temps.

Il est possible d'établir une telle relation pour le débit de drainage de la nappe des GTI dans le Madon à Begnécourt en utilisant la composante souterraine très lente calculée avec GARDENIA et assimilée au débit de drainage de la nappe des GTI. Pour chaque année de la période de calage du modèle GARDENIA (2010 – 2013), le minimum des débits moyens mensuels est calculé et comparé au débit moyen annuel (figure 8).

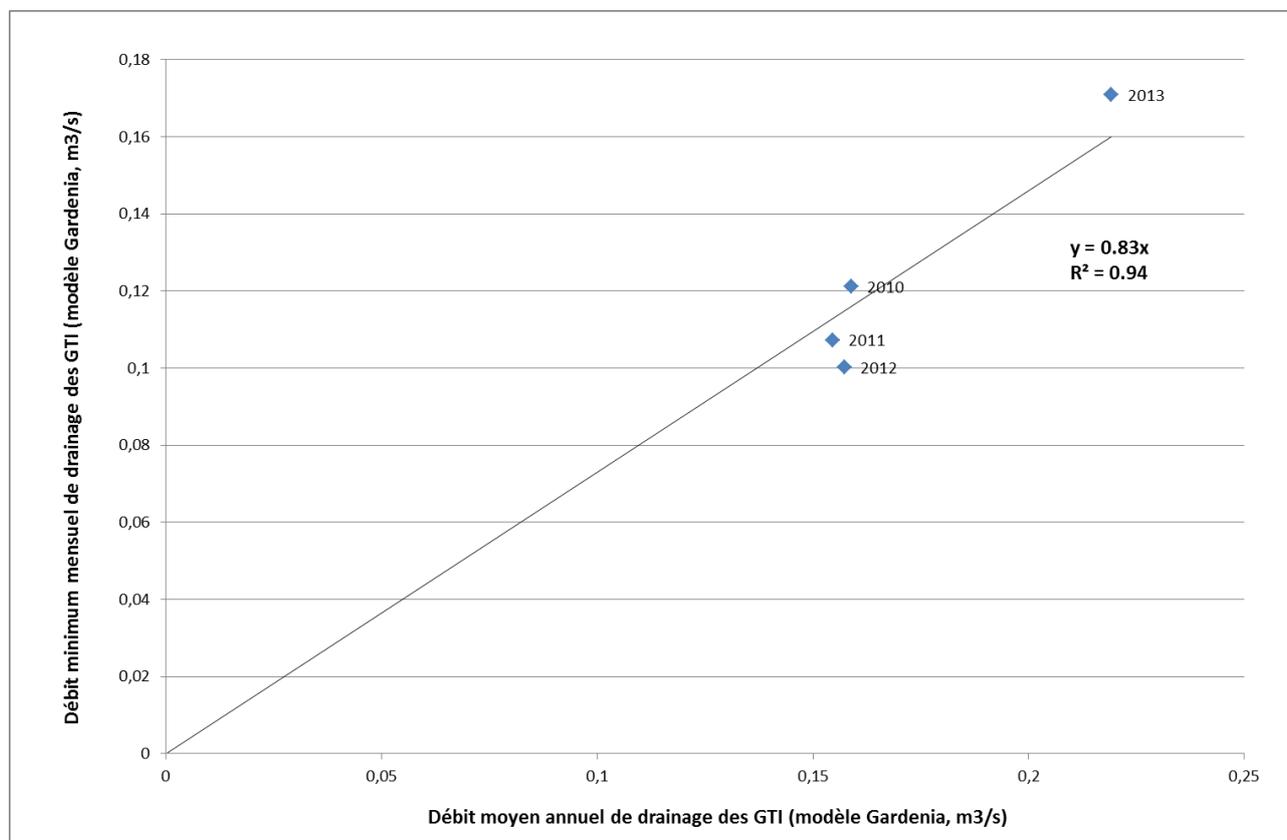


Figure 8 : Corrélation entre le débit de drainage mensuel minimal et le débit de drainage annuel calculés à l'aide de la composante très lente du modèle Gardenia pour la station hydrométrique du Madon à Begnécourt.

On obtient donc la relation suivante qui permet de transformer l'impact annuel calculé par le modèle hydrogéologique MARTHE en impact mensuel :

$$\text{Débit mensuel minimal drainage GTI Madon} = 0,83 \times (\text{Débit moyen annuel drainage GTI Madon})$$

Toutefois, il faut noter que cette corrélation n'est calculée que sur un très faible nombre d'années, et qu'à ce titre sa signification statistique est faible. C'est pourquoi dans le cadre d'un calcul

préliminaire d'impact, elle ne sera pas appliquée aux résultats d'impact présentés ci-après, ce qui entraîne une sous-estimation de l'impact de pompages de ce point de vue.

1.3. CALAGE DU SECTEUR SUD-EST DU SAGE GTI

1.3.1. Méthodologie

Le calage des paramètres hydrodynamiques concerne pour chaque maille ou zone de mailles :

- la perméabilité (détermine la facilité avec laquelle l'eau peut circuler dans la roche),
- le coefficient d'emmagasinement (détermine la quantité d'eau pouvant être stockée dans la nappe lorsqu'elle est captive et sous pression),
- la porosité (détermine la quantité d'eau pouvant être stockée dans la nappe lorsqu'elle est libre),

Nota bene : la recharge (quantité d'eau de pluie qui s'infiltré et alimente la nappe annuellement) pourrait faire aussi l'objet d'un ajustement, dans les limites de vraisemblance fournies par le logiciel ESPERE, compte tenu du fait que sa valeur réelle n'est pas connue. Toutefois cette possibilité n'a pas été utilisée jusqu'ici, car on préfère rechercher un calage satisfaisant en ajustant le minimum possible de paramètres (principe de parcimonie).

Le travail de calage s'effectue par comparaison entre les valeurs de débit de drainage ou de niveau piézométrique calculés par le modèle MARTHE et les données calculées par des moyens externes (débits de drainage, cf. figure 9) ou observées (niveaux piézométriques, cf. figure 10). Sur les deux cartes des figures 9 et 10, les mailles à débordement du modèle MARTHE apparaissent en bleu foncé.

1.3.2. Résultats du calage du secteur Sud-Est du SAGE GTI

Les principaux enseignements du calage effectué jusqu'ici sont résumés ci-après :

- les failles jouent un rôle hydrogéologique prépondérant dans les écoulements du secteur Sud-Est : pour permettre la reproduction simultanée des niveaux piézométriques et des débits de drainage, certaines failles dont celle de Vittel ont dû être considérées comme imperméables ou peu perméables sur tout ou partie de leur linéaire ;
- il est nécessaire de considérer dans les fonds de vallée la présence d'une couche d'alluvions peu perméable voire imperméables pour limiter le débordement des cours d'eau et maintenir les niveaux des points hauts piézométriques : cette couche d'alluvions est modélisée explicitement par l'introduction d'une couche n°1 dans toutes les zones de drainage du secteur Sud-Est et certaines zones de drainage du secteur Saône amont ;
- la partie supérieure des grès à l'affleurement semble généralement moins perméable que la partie profonde, au point qu'il existe des piézomètres dont le niveau piézométrique se situe parfois plusieurs dizaines de mètres au-dessus du niveau de la nappe profonde : les piézomètres non représentatifs de la partie profonde sont cerclés de rouge sur la carte de la figure 9 ;

SAGE GTI - Secteur Sud-Est

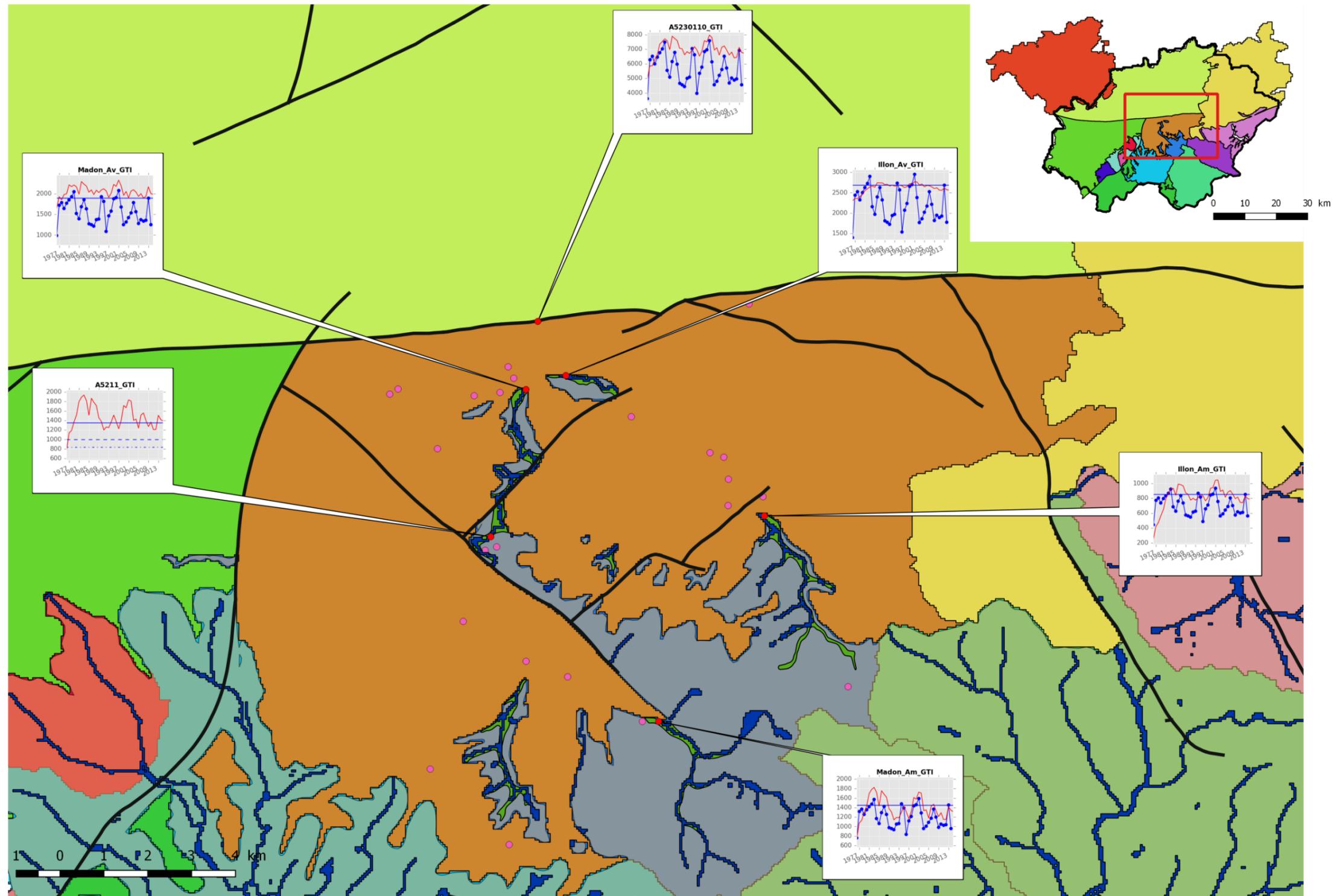


Figure 9 : Calage des débits de drainage de la nappe des GTI (graphiques : unités de débit en m³/s, en bleu les débits de référence calculés à l'aide du modèle hydrologique GARDENIA, en rouge les débits calculés par le modèle hydrogéologique MARTHE).

SAGE GTI - Secteur Sud-Est

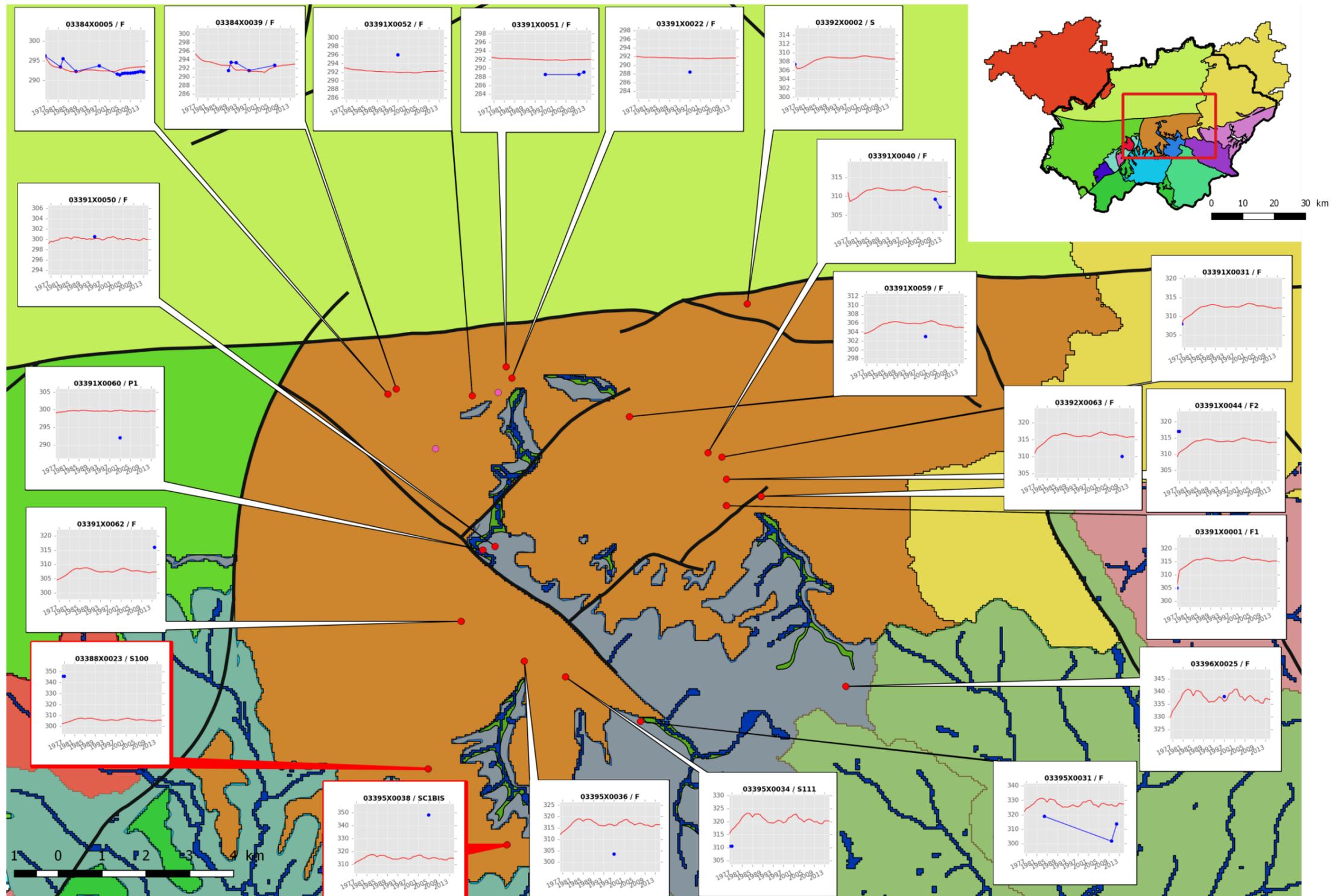


Figure 10 : Calage des niveaux piézométriques (graphiques : niveaux en mètres, en bleu les niveaux mesurés, en rouge les niveaux calculés par le modèle, les graphiques des piézomètres non représentatifs sont circlés de rouge).

- les paramètres hydrodynamiques d'emmagasinement libre et captifs doivent être ajustés dans le secteur Sud-Est de manière à reproduire à la fois le comportement apparemment peu perméable et peu capacitif de la couche supérieure des grès, qui pourrait déterminer le débit de drainage vers les cours d'eau, et le comportement perméable et capacitif des couches inférieures, qui détermine la réaction de la nappe aux pompages. Dans le modèle actuel, la valeur de l'emmagasinement libre pour ce secteur est fixée à 4 %, et celle de l'emmagasinement captif à 1.10^{-4} .
- le calage des débits de drainages est basé sur les chroniques de référence issues de la modélisation hydrologique avec Gardenia (*cf.* § 1.2.3). On constate sur les graphiques de la figure 9 que les débits calculés par Marthe sont supérieurs ou égaux aux débits de référence de chacune des zones de drainage : l'impact des pompages qui pourra être calculé avec ce modèle sera donc surestimé de ce point de vue.

1.3.3. Possibilités d'amélioration du calage du secteur Sud-Est du SAGE GTI

Malgré la recherche la plus exhaustive possible des données existantes, la qualité du calage du secteur Sud-Est ne peut pas être significativement améliorée en l'état actuel des connaissances. On peut notamment constater sur la figure 10 qu'il existe une seule chronique piézométrique de référence pour le secteur Sud-Est.

Malgré ce manque de données, la qualité du calage est jugée suffisante pour permettre la réalisation de simulations et obtenir un ordre de grandeur de l'impact de la mise en place de pompages dans le secteur Sud-Est. Il est à noter que l'impact ne peut être estimé au mieux qu'à l'échelle des zones de drainage pour le secteur Sud-Est, et à l'échelle des bassins versants des stations hydrométriques pour les autres secteurs.

1.4. IMPACT DE L'IMPLANTATION DE DEUX POMPAGES DANS LE SECTEUR SUD-EST

Quatre simulations ont été réalisées, visant à calculer l'impact de la mise en place d'un ou deux forages sur le débit de drainage des cours d'eau et les niveaux piézométriques.

Ces simulations sont réalisées en choisissant une simulation de référence issue des tests de calage, puis en refaisant les calculs sur la même période et avec les mêmes paramètres, le seul changement étant l'introduction d'un ou de deux pompages dans le secteur Sud-Est au début de la simulation. Le calcul de l'impact se fait ensuite en comparant les résultats de la simulation de référence « sans pompage supplémentaire » à chaque simulation « avec pompage de substitution » différente.

Les conditions des simulations sont les suivantes :

- la période de simulation correspond à la période de calage, qui s'étend de l'année 1977 à l'année 2015 ;
- la simulation de référence est la meilleure simulation de calage obtenue ;
- le ou les pompages sont mis en place au début de la période de simulation, soit dès l'année 1977, à un débit constant ;

- l'année de référence pour calculer l'impact est la dernière année de la période de simulation (1977-2015), ce qui permet de calculer l'impact des pompages au bout de 39 ans ; en considérant une année plutôt sèche (2015).
- le débit total de pompage testé varie entre 125 000 et 1 000 000 m³/an selon la simulation, ce débit total de pompage étant réparti à parts égales sur les 2 forages le cas échéant.

Les impacts calculés pour chacune des 4 simulations réalisées sont présentés dans le tableau ci-dessous, ainsi que sur les cartes des figures suivantes. Les zones de drainage considérées sont les zones figurant sur les figures 3 et 4.

Nota bene : le débit de référence permettant le calcul du % d'impact est le débit moyen annuel d'étiage de la simulation de référence pour l'année 2015. Ce débit d'étiage est égal au débit de drainage de la nappe des GTI pour les zones Madon amont, Illon amont et Saône amont. Il est égal au double du débit de drainage pour les zones Madon aval et Illon aval (cf. § 1.2.3).

Zones de Drainage	Débit d'étiage de référence (2015) en m ³ /an	Impact au bout de 39 ans (1977-2015)	1 000 000 m ³ /an avec 2 forages	500 000 m ³ /an avec 2 forages	250 000 m ³ /an avec 1 forage	125 000 m ³ /an avec 1 forage
Madon amont	-1315647	Baisse du drainage (m ³ /an)	-18613	-9335	-3754	-1873
		Pourcentage de baisse (%)	1,4	0,7	0,3	0,1
Madon aval	-3973279	Baisse du drainage (m ³ /an)	-358954	-179565	-81213	-40610
		Pourcentage de baisse (%)	9,0	4,5	2,0	1,0
Illon amont	-789606	Baisse du drainage (m ³ /an)	-13159	-6446	-2879	-1463
		Pourcentage de baisse (%)	1,7	0,8	0,4	0,2
Illon aval	-5130620	Baisse du drainage (m ³ /an)	-94890	-47095	-26616	-13292
		Pourcentage de baisse (%)	1,8	0,9	0,5	0,3
Saône amont	-14183830	Baisse du drainage (m ³ /an)	-315330	-157928	-71564	-32090
		Pourcentage de baisse (%)	2,2	1,1	0,5	0,2

Figure 11 : impact calculé sur les zones de drainage des secteurs Sud-Est et Saône amont (les valeurs de débits apparaissant dans ce tableau sont calculées par le modèle hydrogéologique MARTHE).

Dans le secteur Sud-Est et le secteur Saône amont, l'impact calculé sur le débit moyen annuel d'étiage des zones de drainage de la nappe des GTI varie entre 0,1 % et 9 % selon les simulations (tableau de figure 11 ci-dessus).

Les cartes des figures 12 à 15 montrent la répartition spatiale d'un prélèvement de substitution sur les niveaux piézométriques dans le périmètre du SAGE GTI et du modèle étendu : pour le prélèvement le plus élevé (1 million de m³ en continu pendant 39 ans), le rabattement maximal au bout de 39 ans peut atteindre 17 m aux points de pompage et 8 m à proximité des ouvrages de pompage.

Le rabattement se propage au secteur sud-ouest par l'intermédiaire de la faille de Relanges car cette dernière n'est pas considérée comme imperméable dans la configuration actuelle du calage.

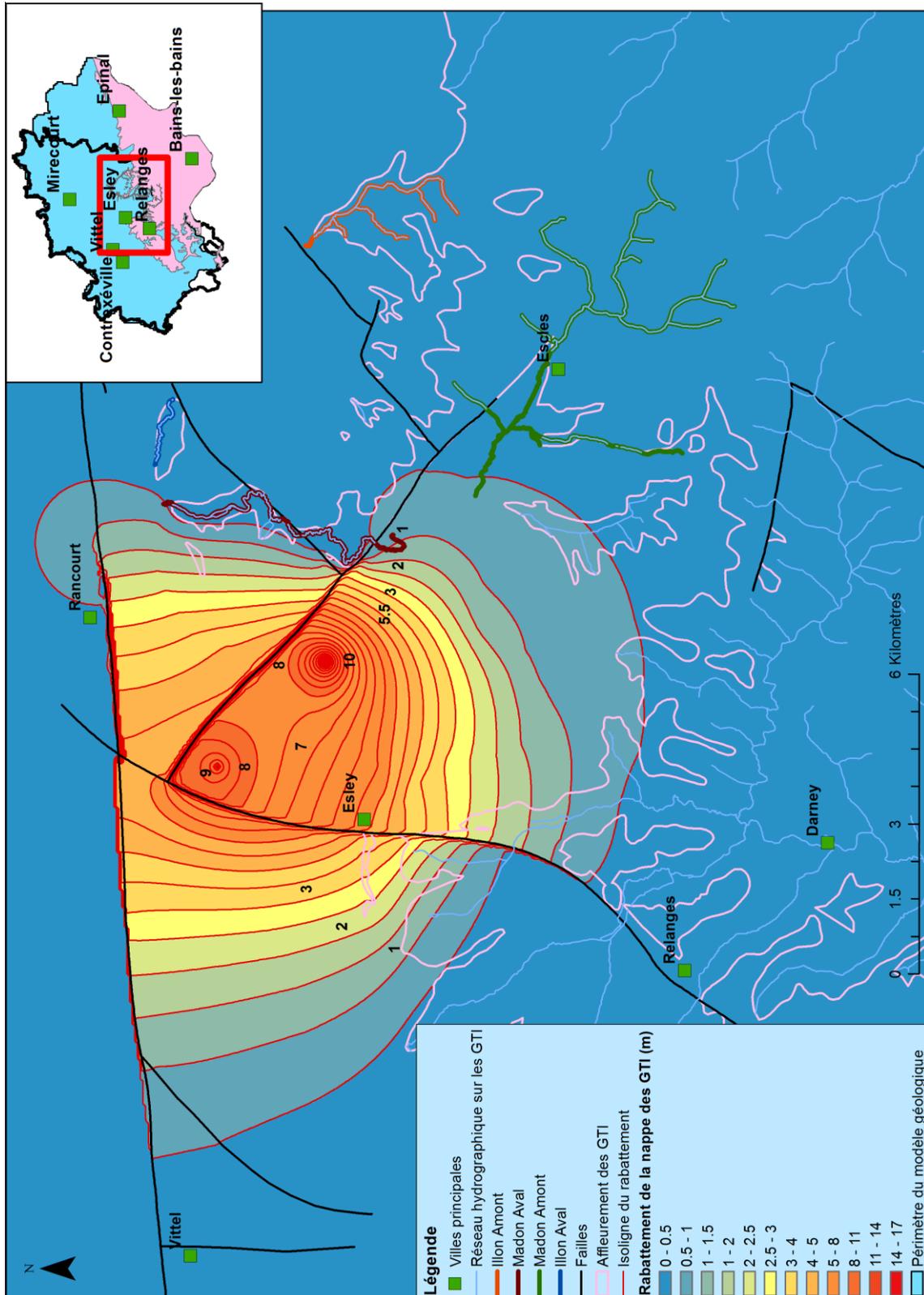


Figure 12 : Impact sur les niveaux piézométriques d'un prélèvement total de 1 000 000 m³/an réparti sur 2 forages de substitution implantés dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI (baisse en mètres).

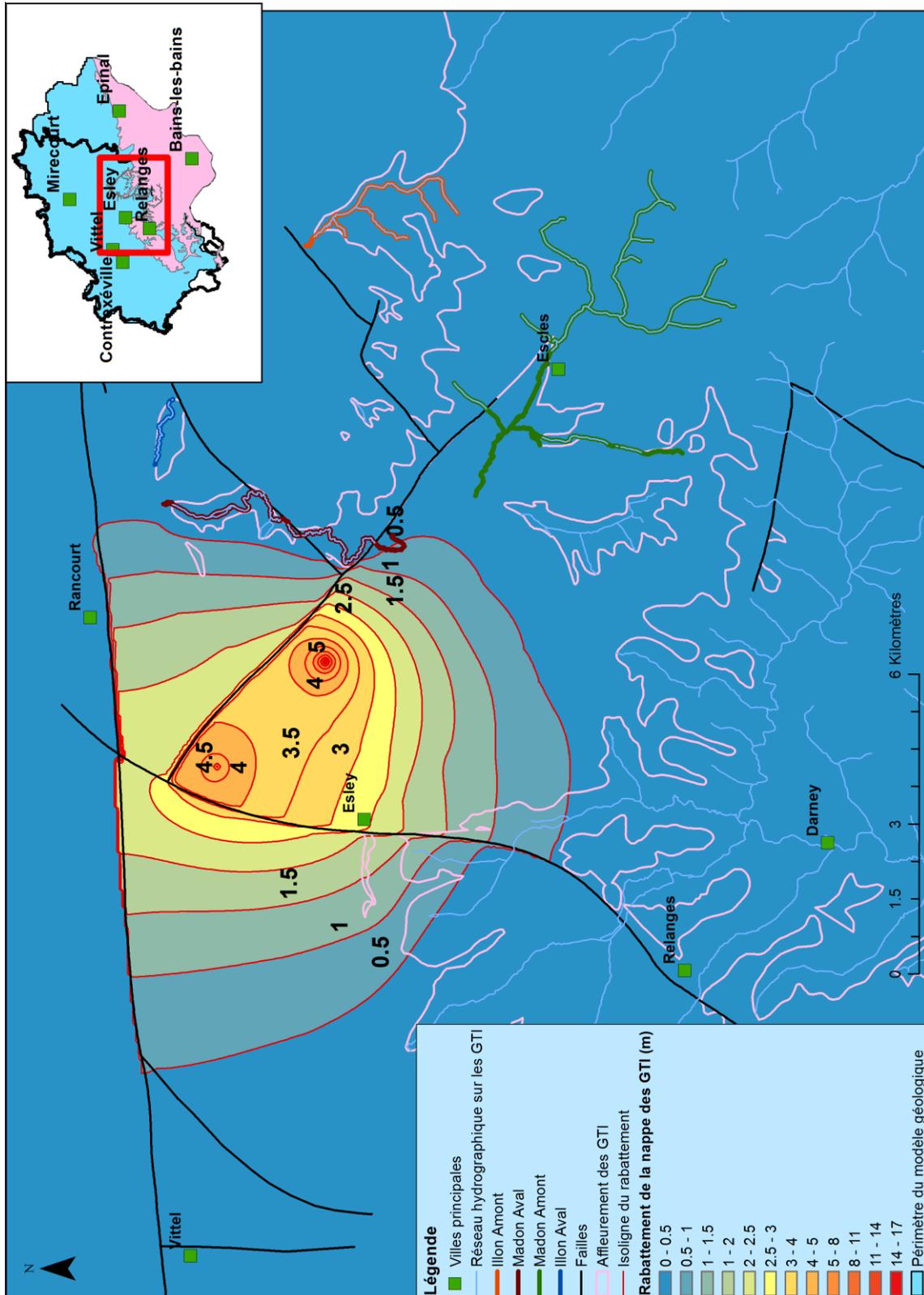


Figure 13 : Impact sur les niveaux piézométriques d'un prélèvement total de 500 000 m³/an réparti sur 2 forages de substitution implantés dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI (baisse en mètres).

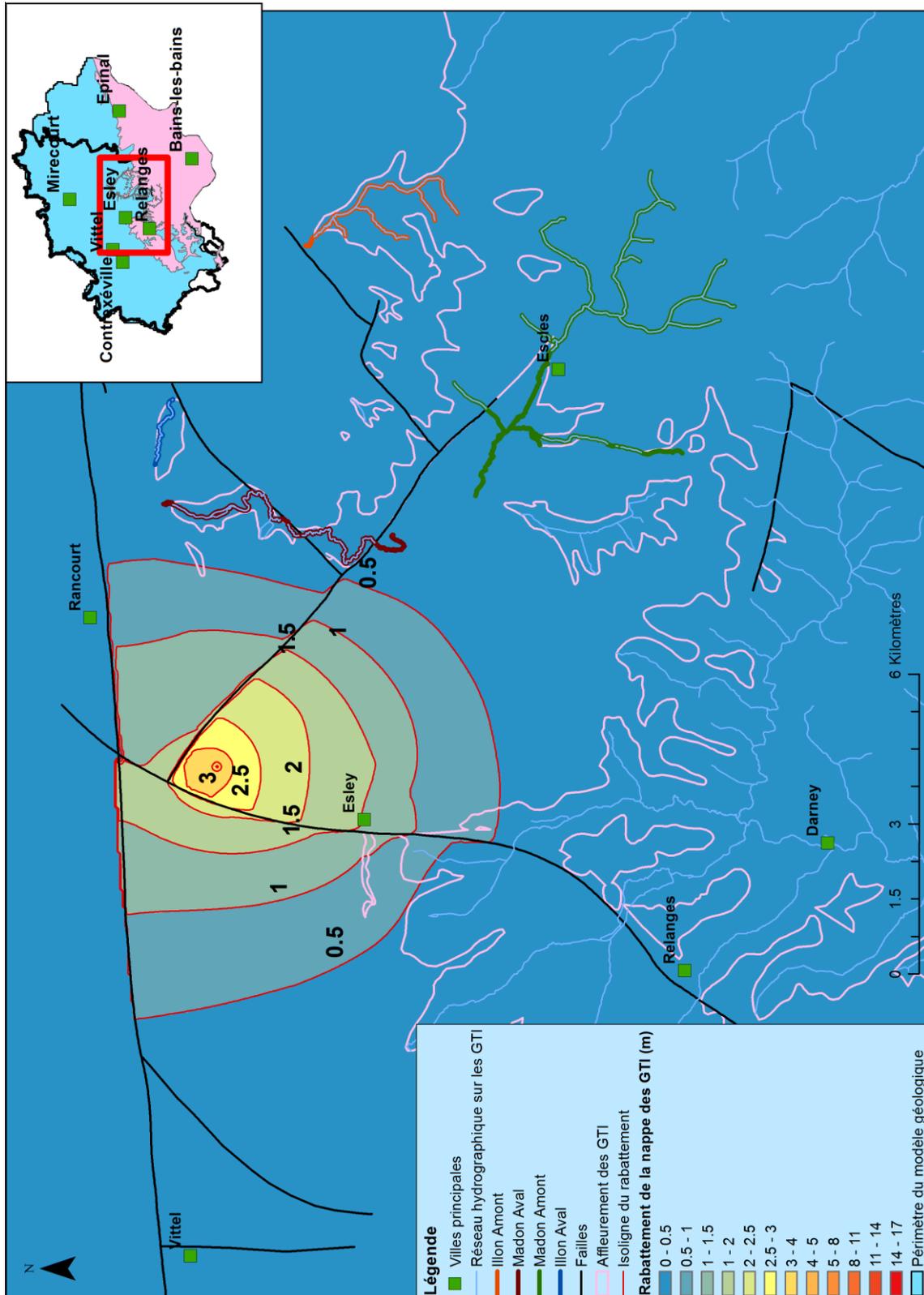


Figure 14 : Impact sur les niveaux piézométriques d'un prélèvement de 250 000 m³/an sur 1 forage de substitution implanté dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI (baisse en mètres).

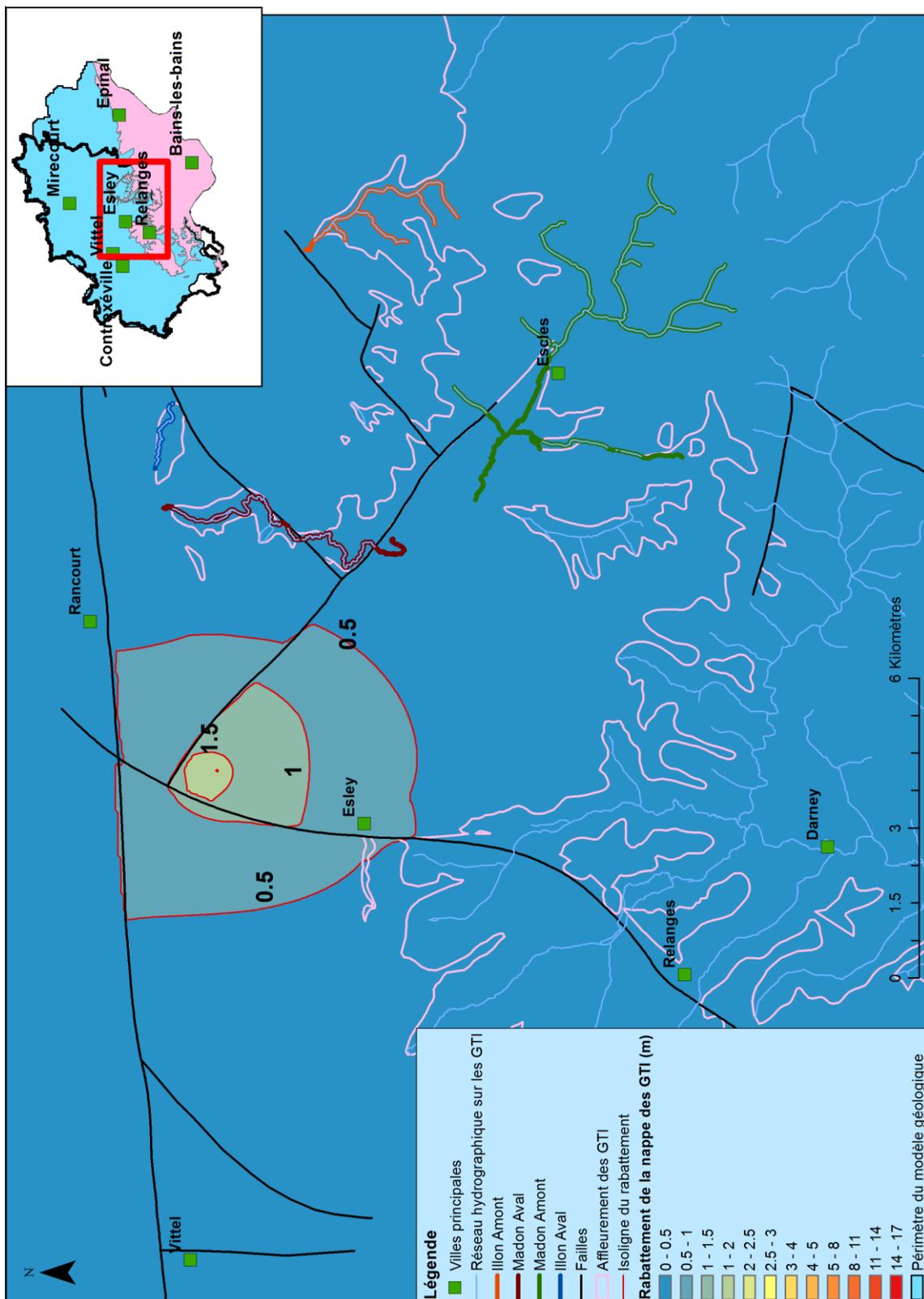


Figure 15 : Impact sur les niveaux piézométriques d'un prélèvement de 125 000 m³/an sur 1 forage de substitution implanté dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI (baisse en mètres).

3. Conclusion

Les simulations réalisées avec le modèle hydrogéologique de la nappe des GTI étendu aux affleurements dans les Vosges montrent que :

- l'impact à long terme (39 ans) d'un nouveau prélèvement dans le secteur Sud-Est du SAGE GTI est significatif (jusqu'à 9% du débit d'étiage sur la zone de drainage du Madon aval pour le prélèvement de 1 millions de m³/an, et 1% sur cette même zone pour le prélèvement à 125 000 m³/an) ;
- le volume prélevable dans le secteur Sud-Est ne pourra être calculé qu'à condition que les conséquences sur l'état des masses d'eau de surface impactées par ce prélèvement soient déterminées précisément, notamment en termes de débit biologique minimum à réserver dans les zones les plus fragiles ;

Pour préciser l'impact à une échelle plus fine, une acquisition de données visant l'amélioration des connaissances est nécessaire, notamment sur les points suivants :

- perméabilité des failles de Relanges et de Vittel à la limite des secteurs Sud-Est d'une part, et des secteurs Sud-Ouest et Nord d'autre part ;
- relations nappes-rivières (perméabilité des alluvions notamment) dans les secteurs potentiellement impactés par d'éventuels nouveaux pompages de substitution ;
- évolution temporelle des niveaux piézométriques dans le temps ;
- évolution temporelle des débits d'étiage dans chaque zone de drainage ;
- connaissance des débits biologiques des zones potentiellement impactées les plus fragiles.