Calcul des remontées de nappe derrière un remblai routier lors d'une crue exceptionnelle de la Moselle à Remiremont

Philippe Sergent[1], Bainian Zhang[2], Dominique Thiéry[3] & Abdellatif Ouahsine[2]

[1]Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales
2, boulevard Gambetta BP 60039
60 321 COMPIEGNE cedex
philippe.sergent@equipement.gouv.fr

[2]Université de Technologie de Compiègne
rue Personne de Roberval
60 200 COMPIEGNE

[3]BRGM Service EAU
3, avenue Claude Guillemin BP 6009
45 060 ORLEANS cedex 2

Résumé :

Les principes de calcul des remontées de nappe derrière un remblai routier lors d'une crue exceptionnelle de la Moselle sont présentés. Un modèle d'écoulement souterrain est couplé à un modèle d'écoulement de surface. Ce-dernier traite à la fois les inondations de la rivière et les ruissellements dus aux remontées. Les remontées de nappe apparaissent principalement juste derrière les remblais du casier protégé. Un couplage fort améliore légèrement la précision par rapport à un couplage faible.

Abstract :

The principles of calculation of the rising of tablecloth behind a road embankment at the time of an exceptional rising of the Moselle are presented. A model of underground flow is coupled with a model of surface flow. The latter one treats at the same time floods of the river and run-off due to the rising of tablecloth. The risings of tablecloth appear mainly right behind the embankments of the protected area. A strong coupling improves the precision slightly by comparison with a weak coupling.

Mots clefs :

écoulement souterrain ; rivière ; nappe ; ruissellement ; couplage

1 Introduction

De nombreuses zones urbanisées sont protégées des crues par des digues. Même si elles ne sont plus touchées par les inondations directes des rivières, elles peuvent être le sujet de remontées de nappe. Poligot-Pitsch et al. [1] ont étudié les remontées de la nappe alluviale dans le val d'Avaray derrière les digues de la Loire. Ils ont montré que le ruissellement de surface pouvait influencer les écoulements souterrains et augmenter l'exfiltration. Le même phénomène peut exister pour des remblais routiers et a été étudié pour le compte de la Direction Départementale de l'Equipement des Vosges (DDE 88) dans le cadre d'une collaboration entre le CETMEF, l'UTC et le BRGM sur le site de Remiremont situé le long de la Moselle à l'aval du confluent avec la Moselotte.

2 Cas d'étude

La crue de février 1990 a occasionné des inondations et des dommages importants dans les vallées de la Moselle et de la Moselotte. La crue a traversé Remiremont après la construction de la déviation de la RN 66 (appelée rocade) et de sa jonction avec la CD 417 (appelée pénétrante). Ces deux voies routières sont implantées dans le lit majeur de la Moselle à l'aval du confluent avec la Moselotte. Les terrains compris entre la RN 66 et la voie SNCF actuellement démantelée se composent de trois casiers principaux (voir figure 1). Dans le premier casier, situé en amont, sont implantées diverses usines. Le second casier en aval du remblai de la pénétrante comprend un plan d'eau. A l'arrière de la voie SNCF qui forme un écran, se trouve le troisième casier où sont implantées diverses constructions, notamment une filature qui a subi de graves dommages lors du passage de la crue de 1990. La filature n'a pas été directement inondée par les eaux du lit actif de la Moselle, mais plutôt par un effet de remplissage en série de ces casiers. L'eau qui a rempli le casier de la filature s'est écoulée en résurgence par les réseaux d'assainissement.

L'étude a consisté d'abord à évaluer l'impact hydraulique de l'aménagement des deux voies routières, la RN66 et la CD 417, implantées dans le lit majeur du confluent Moselle-Moselotte. Cette étude hydraulique est en régime permanent avec des calculs réalisés sur la base des débits au maximum de la crue du 15 Février 1990.

Divers aménagements ont été réalisés par la Direction Départementale de l'Equipement des Vosges après la crue. Le premier casier est notamment protégé désormais d'un écoulement direct des eaux de la Moselle. Un calcul a donc été ensuite mené en régime transitoire pour donner la dynamique de la crue de 1990 sur une période de quelques jours ainsi que l'impact hydraulique des travaux d'aménagements contre les crues qui ont suivi l'épisode d'inondations.

Comme les casiers à enjeux (1 et 3) sont désormais protégés d'un écoulement direct de la crue par un remblai routier, à savoir la rocade, il a enfin été décidé d'estimer les écoulements par le sous-sol et les inondations de surface par remontées de nappe.

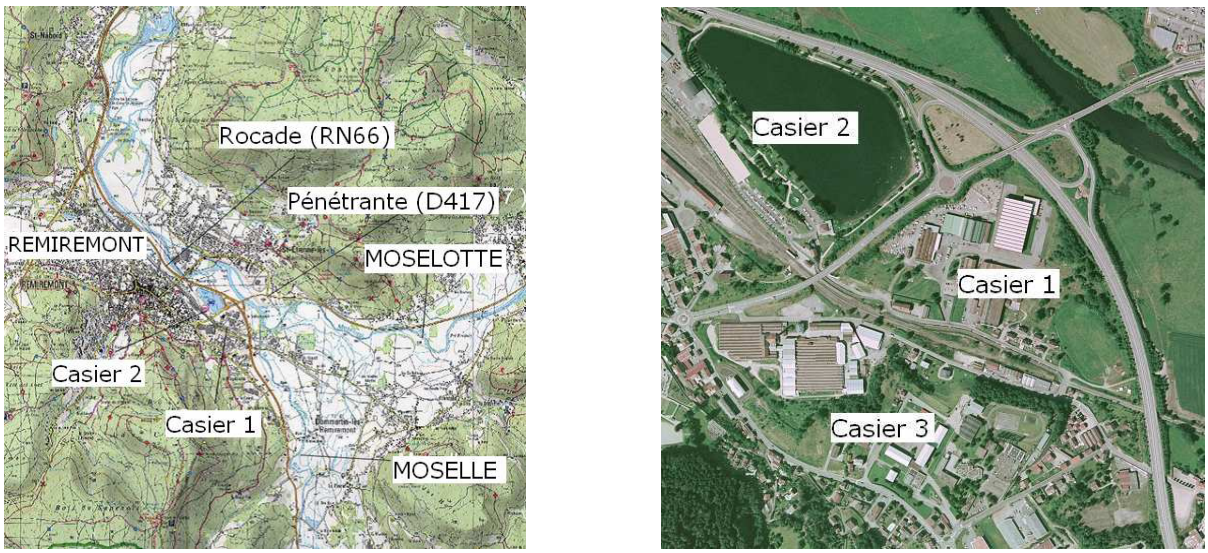


FIG. 1 – Plans de situation des voies routières et des casiers.

3 Etude hydraulique de surface

3.1 Scénarii d'étude

L'étude a consisté à analyser, dans un premier temps, les impacts successifs des constructions de la rocade (RN 66), puis de la pénétrante (CD 417) sur une crue du type crue de Février 1990. Les scénarii étudiés sont donc les suivants :

- (1) Rivière sans aménagements routiers ;

- (2) Rivière avec rocade ;
- (3) Rivière avec rocade et pénétrante.

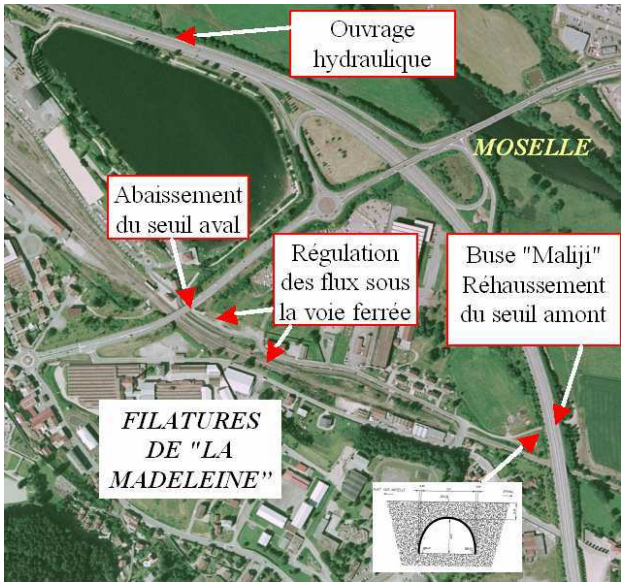


FIG. 2 – Aménagements réalisés après la crue de 1990.

Les aménagements, réalisés par la DDE 88 après les inondations de 1990, protègent maintenant le casier 1 d'un écoulement direct de la crue. Le relèvement de la route passant sous la rocade à travers une buse nommée buse Maliji isole en effet maintenant ce casier des eaux de la Moselle. Les autres aménagements ont consisté d'une part à réguler les flux sous la voie ferrée vers le casier 3 à l'aide de clapets anti-retour. Ont été réalisés d'autre part l'abaissement du seuil entre les casiers 1 et 2 ainsi qu'un ouvrage hydraulique entre la Moselle et le casier 2. Le casier 2 est toujours en communication avec la Moselle pour les hautes eaux afin de continuer à utiliser sa capacité de stockage. A noter également la présence d'un étang dans ce casier qui est alimenté directement par la nappe alluviale de la Moselle.

- (4) Rivière avec aménagements routiers et aménagements actuels de protection.

La fermeture des deux zones de stockages (casier 1 et casier 2) a également été envisagée. Cet aménagement protège complètement les casiers des eaux de la Moselle mais limite la capacité de stockage et provoque un exhaussement de la ligne d'eau dans le lit majeur de la Moselle et de la Moselotte.

- (5) Rivière avec aménagements routiers et fermeture des deux casiers.

3.2 Modèles hydrauliques

Les modèles hydrauliques sont des modèles emboîtés. Une première modélisation filaire (1D) repose sur trois biefs, deux biefs couvrant le lit principal de la Moselle en amont et aval de la confluence avec la Moselotte et le troisième bief décrivant la Moselotte. Le MNT décrit un linéaire de 32,2 km, réparti sur la Moselle amont (14,7 km) entre Saulx et la confluence, sur la Moselle aval (7,8 km) entre la confluence et Noir Gueux et sur la Moselotte (9,7 km) entre Zainvillers et la confluence. Le MNT est composé de 270 profils en travers, dont 18 profils de ponts et 19 profils de barrages en lit mineur. Le secteur d'étude du modèle bidimensionnel (2D) couvre la confluence de la Moselle et de la Moselotte. Sur la Moselle, la limite amont se situe au niveau du lieu-dit la Bruche, proche de Vecoux. Elle correspond au profil P71 du modèle 1D. La limite amont sur la Moselotte se situe au lieu-dit les Roches en aval de St Amer. Elle correspond au profil P170 du modèle 1D. La limite aval sur la Moselle est proche de St Nabord sur le profil P116. Le MNT de cette configuration possède 29 752 nœuds et 14 139 éléments. Le modèle 2D est le modèle REFLUX® qui résout l'équation de Saint-Venant par la méthode des éléments finis.

3.3 Résultats

Le modèle numérique a été calé sur de nombreuses laisses de crue à la fois pour les modélisations 1D et 2D. En régime transitoire, le limnigramme à l'échelle de crue de Remiremont a également été validé (voir figure 3).

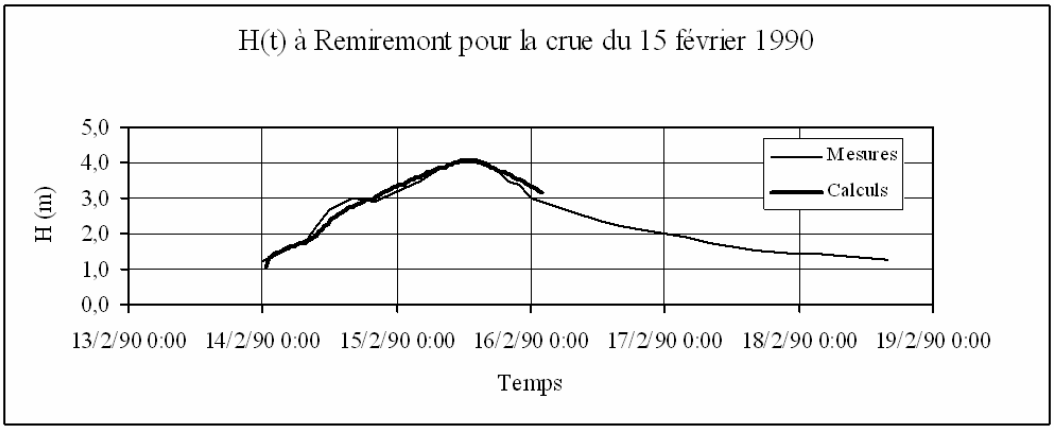
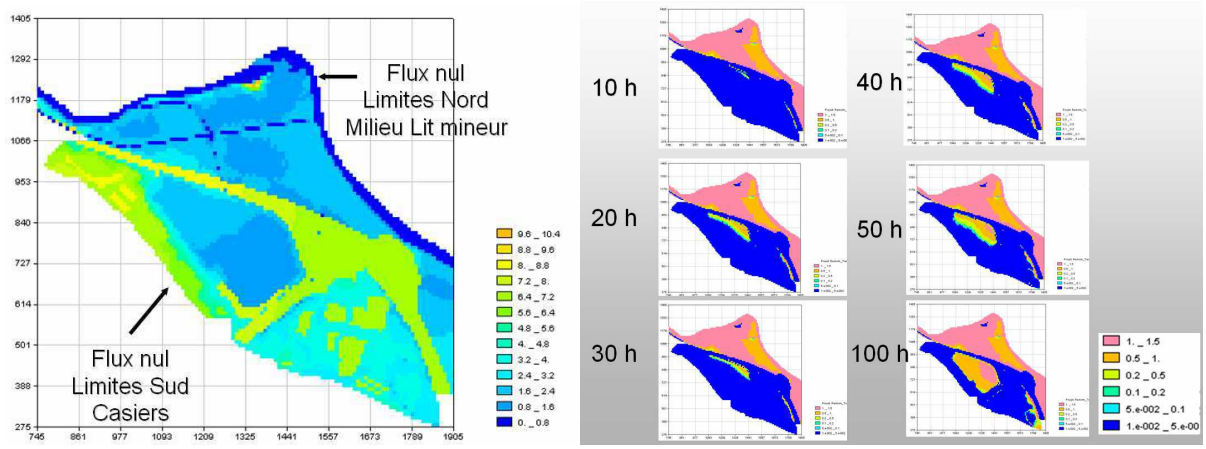


FIG. 3 – Calage du modèle hydraulique en mode transitoire à l'échelle de Remiremont.

Les calculs ont d'abord montré que la pénétrante était responsable d'une surélévation de 50 cm du lit majeur de la Moselle avec une progression de la crue vers l'aval dans le casier 1 qui va buter contre le remblai de la pénétrante. Cela provoque alors une surélévation de 80 cm à cet endroit. Les aménagements de protection contre les inondations dans le casier 1 (principalement la fermeture du casier 1 vis-à-vis des écoulements en lit majeur de la Moselle) ont ensuite fait perdre 58 000 m³ de volume de stockage et provoquent une surélévation inférieure à trois centimètres en lit majeur de la Moselle. Le casier 1 étant maintenant isolé du lit majeur, il reste à examiner les remontées de nappe éventuelles qui pourraient se produire lors d'une crue exceptionnelle. C'est le sujet des sections suivantes.

4 Etude hydraulique souterraine

Le calcul de l'écoulement souterrain est réalisé à l'aide du modèle MARTHE® du BRGM (Thiéry [2]). Ce modèle utilise une discrétisation par volumes finis. Il a été utilisé ici en système monocouche avec une perméabilité de 5. 10^{-4} ms^{-1} soit une transmissivité de 1. 10^{-2} m^2s^{-1} pour une épaisseur de nappe de 20 m. Le substratum est en effet supposé situé 20 m en dessous du terrain naturel. Le maillage comprend 6 098 mailles carrées de 10 m de coté. Les conditions aux limites ont été choisies étanches à la fois au Nord au milieu du lit mineur et au Sud à la limite des casiers. Des travaux d'étanchéité ont été en effet mis en œuvre pour éviter la pollution de l'étang qui est situé dans le casier 2. Les limites amont et aval ont également été supposées étanches. L'état initial est calculé en mode permanent le 14/02/90 à 0h00. Les charges sont imposées dans toute la zone où les hauteurs d'eau de surface calculées par REFLUX® sont strictement positives. Dans toute cette zone on impose dans la nappe la hauteur d'eau de surface moins 1,5 mètres et au maximum égale à la topographie. La figure 4a montre la profondeur de la nappe par rapport à la topographie. La nappe ne déborde pas à l'état initial. Elle est en moyenne environ deux mètres en- dessous du terrain naturel, ce qui est en concordance avec les mesures réalisées par la Direction Départementale de l'Equipement des Vosges (DDE 88). Pour les calculs en régime transitoire, le coefficient d'emmagasinement libre S_L est pris égal à 10 %. Un premier calcul fictif en régime transitoire a consisté à imposer depuis le temps t=0 le 14/02/90 à 0h00, la hauteur d'eau calculée par REFLUX® au maximum soit au temps t=37h30. Les résultats de submersion montrent un débordement significatif à partir de 20 heures dans le casier 2 et un léger débordement derrière les remblais dans le casier 1.



(4a) (4b)

FIG. 4 – (a) Profondeur de la nappe en-dessous du terrain naturel en mètres le 14/02/90 à 0h00 ; (b) Hauteur d'eau au-dessus du terrain naturel en mètres à partir du 14/02/90 à 0h00 pour le calcul fictif.

5 Couplage

Le protocole de couplage est le suivant à la suite d'un calcul de REFLUX®. Dans les mailles pour lesquelles REFLUX® a calculé une hauteur nulle, un index de suintement est introduit dans MARTHE®. Si le niveau piézométrique tend à passer au-dessus de la topographie, le niveau est maintenu à la topographie et un débit de débordement est calculé par MARTHE®. Le débit qui déborde est injecté au pas de temps suivant dans la maille correspondante de REFLUX®. Dans les mailles pour lesquelles REFLUX® a calculé une hauteur positive, la charge est imposée dans MARTHE® qui calcule alors un débit positif (exfiltration) ou négatif (infiltration). Ce débit sera lui aussi injecté dans REFLUX® au pas de temps suivant.

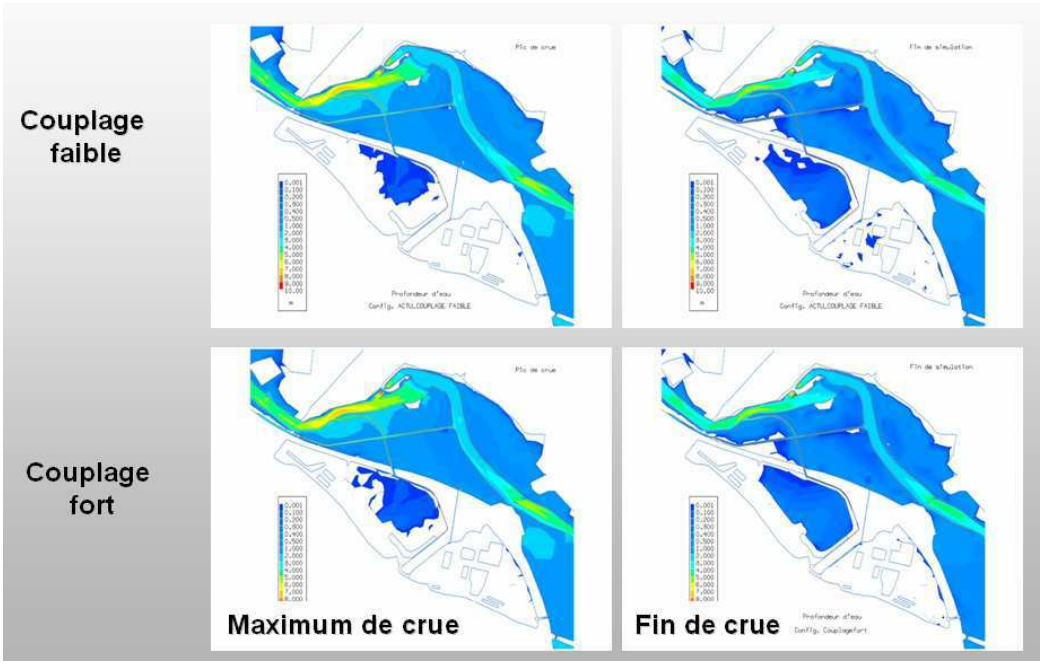


FIG. 5 – Comparaison des hauteurs d'eau entre couplage faible et couplage fort.

Les calculs sont réalisés sur cinquante heures entre le 14 et le 16 Février sur la configuration (4) décrite dans la section 3. Nous appelons couplage fort la procédure de couplage présenté ci-dessus avec un pas de temps de 30 minutes. Un couplage dit faible est également testé. Il consiste à procéder à trois calculs : le premier

avec REFLUX® sur 50 heures, le second avec MARTHE® avec les hauteurs d'eau calculées précédemment et le troisième à nouveau avec REFLUX® à partir des débits d'exfiltration/infiltration obtenus. Les comparaisons entre les deux types de couplage sont présentées sur la figure 5. Des différences sont notées entre les deux calculs mais restent assez faibles. On remarque que l'inondation de nappe n'est pas en phase avec le maximum de crue de la rivière ; le maximum de remontées de nappe se produit lors de la décrue.

Sur la figure 6 sont synthétisés les différents résultats de cette étude : d'abord l'inondation de 1990 qui a touché globalement les deux casiers et principalement le casier 1 à enjeux, ensuite la situation actuelle où le casier 2 joue seul le rôle de zone de stockage, enfin l'effet des remontées de nappe. Un effet bénéfique des remontées de nappe est un stockage plus fort dans le casier 2. Le stockage passe en effet de 7 000 m³ à 22 000 m³. En revanche de légères remontées sont aussi notées juste derrière les remblais dans le casier 1 qui est occupé par des usines. On peut estimer que ce constat pourrait être aggravé pour une simulation plus longue ou pour une crue centennale du type de celle de 1947.

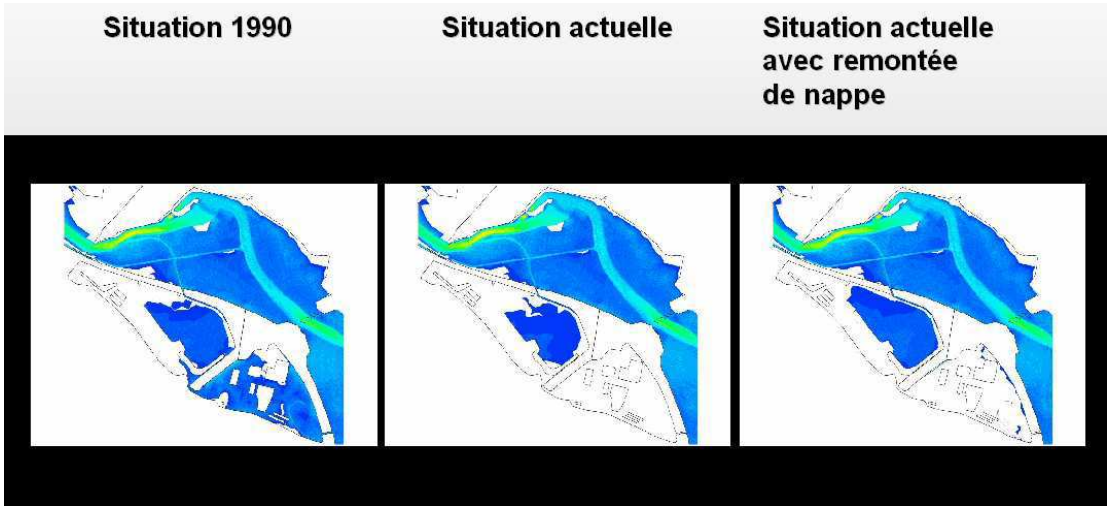


FIG. 6 – Hauteur d'eau au-dessus du terrain naturel après 50 heures.

6 Conclusions

Un couplage entre un modèle d'écoulement de surface et un modèle d'écoulement souterrain a été mis en œuvre sur une étude opérationnelle. Un couplage fort améliore légèrement la précision des résultats par rapport à un couplage faible. De faibles débordements par remontées de nappe sont relevés pour une crue du type de celle de 1990. Ils devraient être plus importants pour une crue centennale du type de celle de 1947. A noter enfin que, malgré la présence sur place d'un piézomètre, le nombre d'observations reste insuffisant pour bien valider les résultats.

Remerciements : Les développements décrits dans cet article ont été financés partiellement par la Direction Départementale de l'Equipement des Vosges (DDE 88) et sur crédits de la Direction de la Recherche du BRGM (projet CRUES).

Références

[1] S. Poligot-Pitsch, P. Sergent and G. Dhatt. Modélisation tridimensionnelle des remontées de nappe et inondations au val d'Avaray. Revue Européenne des Eléments Finis, 12 (2/3):235-255, 2003.
[2] D. Thiéry. Modélisation des aquifères complexes - Prise en compte de la zone non saturée et de la salinité. Calcul des intervalles de confiance. Revue Hydrogéologie, (4):325-336, 1993.