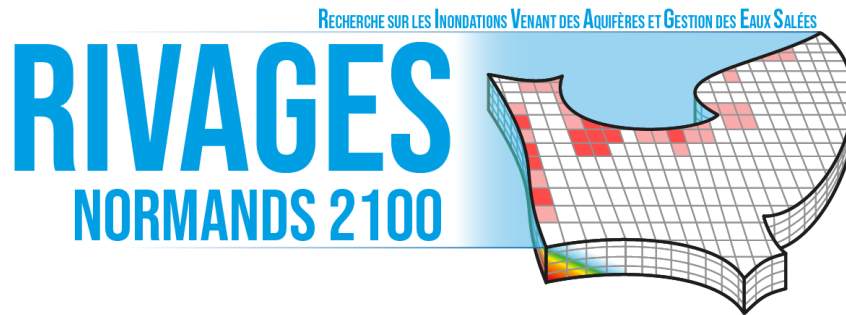


## Compte Rendu du 16 Mai 2019



### 1 Participants

Alexandre Gauvain, Luc Aquilina et Jean-Raynald de Dreuzy de l'OSUR (Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes)

Florent Guibert de l'AESN (Agence de l'Eau Seine-Normandie)

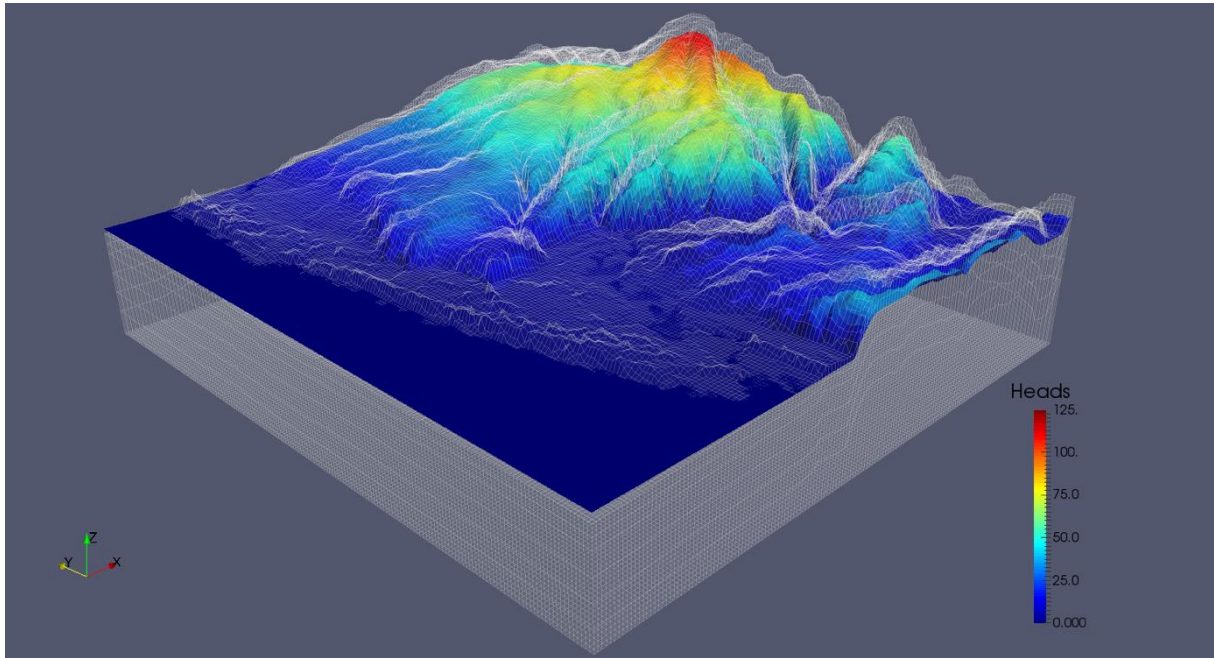
Vincent Panetier et Frédéric Gresselin de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement) Normandie

### 2 Méthodologie

Pour réaliser une première approche de la dynamique du niveau piézométrique sur ces sites d'étude, des modèles hydrologiques ont été développés. Ces modèles ont été construits de façon identique pour l'ensemble des sites d'étude.

#### 2.1 Paramétrisation des modèles

La discrétisation spatiale du modèle (Figure 1) est définie par un maillage régulier de 75m et une topographie extraite d'un modèle numérique de terrain (IGN). La structure du modèle est caractérisée par un milieu homogène comprenant une couche perméable de 20 mètres d'épaisseur reposant sur une couche imperméable. Les paramètres hydrauliques (perméabilité et porosité) de la couche perméable seront définis dans la partie suivante. La discrétisation temporelle du modèle est définie en régime transitoire sur une durée de 42 ans correspondant à la durée d'une chronique de recharge issue du modèle SURFEX (MétéoFrance).

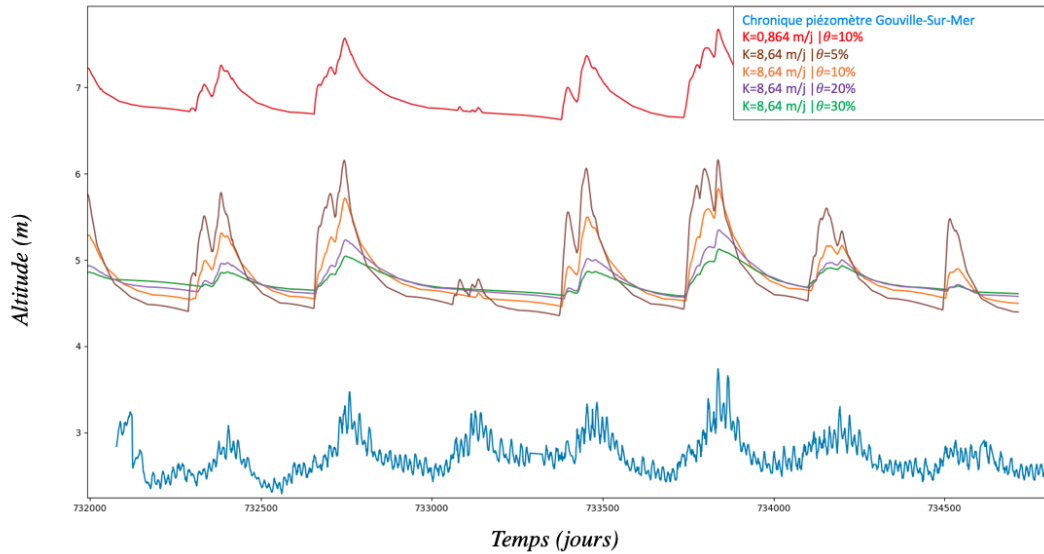


**Figure 1 - Représentation 3D du modèle hydrologique avec la discrétisation spatiale (grille blanche) et le niveau d'eau simulé (Heads).**

Les conditions initiales du modèle sont déterminées par un niveau d'eau en régime permanent calculé à partir de la moyenne de la chronique de recharge. Les conditions aux limites du modèle sont une limite imperméable au fond et sur les bords du modèle et un niveau d'eau imposé par le niveau moyen de la mer sur les mailles situées en dessous de ce niveau. Dans ce modèle, nous faisons l'hypothèse que les rivières n'alimentent pas l'aquifère. C'est à dire que si le niveau d'eau passe au-dessus de la topographie, le volume d'eau supérieur au niveau topographique est instantanément évacué par le réseau hydrographique.

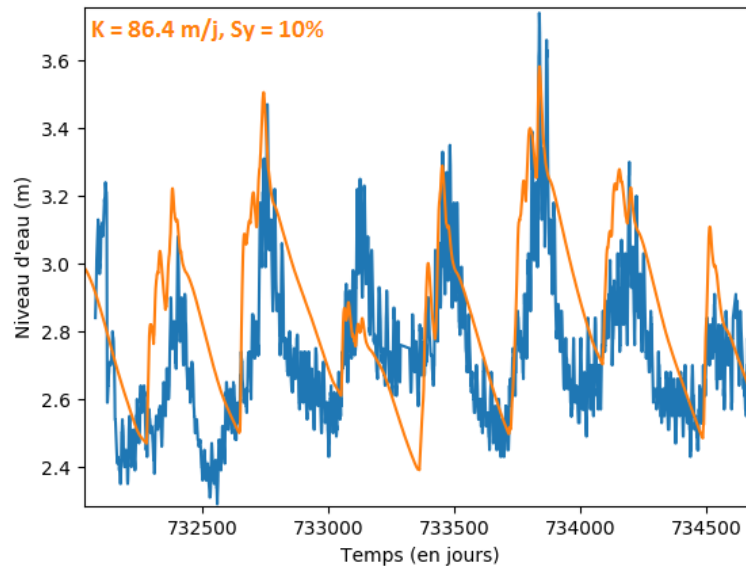
## **2.2 Perméabilité et porosité**

L'indentification des deux paramètres hydrauliques de la couche perméable est essentielle pour que le modèle se rapproche au maximum de la dynamique réelle de la nappe phréatique. Afin de fixer ces deux paramètres, nous avons utilisé la seule information piézométrique que nous disposons sur le site d'Agon-Coutainville et plus particulièrement le piézomètre de Gouville-Sur-Mer. L'idée est d'utiliser cette chronique pour réaliser une comparaison entre les valeurs observées et les valeurs modélisées afin de définir les paramètres de perméabilité  $K$  et de porosité  $\theta$ . La réalisation de plusieurs simulations a permis d'explorer une gamme de valeur de perméabilité et de porosité (Figure 2).



**Figure 2 – Comparaison entre les chroniques de niveau modélisées selon différentes valeurs de perméabilité  $K$  et de porosité  $\theta$  et la chronique du piézomètre de Gouville-Sur-Mer.**

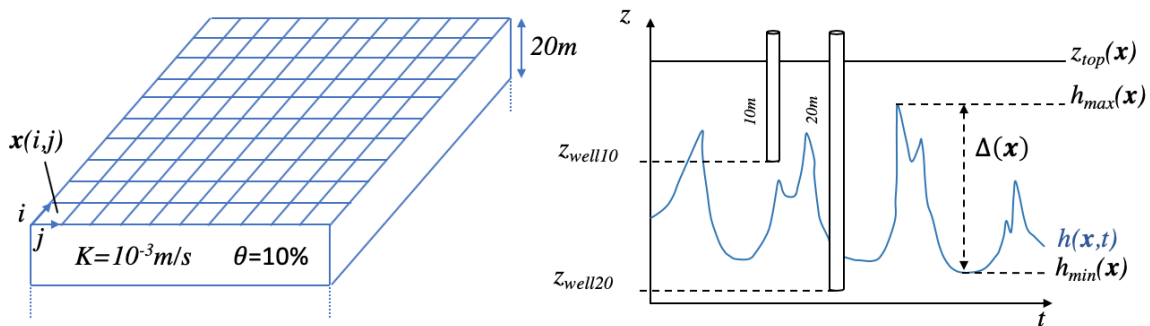
Ces simulations montrent d'une part que la valeur de perméabilité va influencer le niveau moyen de la nappe et d'autre part que la porosité impacte l'amplitude du battement de la nappe. Une diminution de la perméabilité va augmenter le niveau moyen de la nappe puisque les écoulements souterrains auront une vitesse plus faible et le milieu aura plus de difficulté à évacuer la recharge.



**Figure 3 – Représentation de la chronique piézométrique issue du modèle hydrologique où les valeurs de perméabilité  $K$  et de porosité  $\theta$  ( $S_y$ ) permettent de se rapprocher aux données de terrain du piézomètre de Gouville-Sur-Mer.**

De la même façon, une augmentation de la porosité diminue l'amplitude du battement de la nappe. Le volume de vide disponible dans le milieu souterrain étant plus important, il faudra d'avantage de recharge pour atteindre un même niveau piézométrique. Cela permet de limiter l'augmentation du niveau de la nappe lié à l'apport de la recharge. Cette exploration de paramètre a permis d'établir un modèle de référence. Nous avons fixé une valeur de perméabilité  $K$  à  $10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$  ( $86,4 \text{ m.j}^{-1}$ ) et une porosité de 10% (Figure 3). Il faut souligner que les résultats issus de ce modèle doivent être interprétés en gardant en mémoire puisque le modèle a été calibré avec seulement une information et que l'hétérogénéité du milieu n'est pas prise en compte ici.

### 2.3 Indicateurs



**Figure 4 – Schéma conceptuel de la structure du modèle hydrologique (figure de gauche) et la représentation des indicateurs liés à la dynamique de la nappe phréatique.**

Pour l'implantation des piézomètres, deux indicateurs extraits du modèle semblent être important pour définir les zones où l'on peut observer le niveau d'eau de façon continue. Le premier indicateur est le niveau maximal  $h_{max}$  et minimal  $h_{min}$  que la nappe a atteint durant une simulation.

$$h_{min}(\mathbf{x}) = \min(h(\mathbf{x}, t)) \quad (1)$$

$$h_{max}(\mathbf{x}) = \max(h(\mathbf{x}, t)) \quad (2)$$

La profondeur des piézomètres prévus étant de 10 et 20 mètres, il est important que la nappe ne descende pas en dessous de la profondeur du forage dans quel cas nous perdrons la mesure du niveau d'eau durant cette période. De la même façon, il est nécessaire que le niveau maximal  $h_{max}$  ne soit pas trop proche de la surface. Cette zone située entre le niveau maximum et la surface du sol nous permet d'observer l'impact de l'augmentation du niveau de la mer sur le niveau des eaux souterraines.

Le second indicateur est l'amplitude du battement de la nappe phréatique  $\Delta$ . Cet indicateur permet d'observer le signal, plus le battement est important et plus nous pourrions en ressortir des informations et que le signal sera interprétable.

$$\Delta(\mathbf{x}) = h_{max}(\mathbf{x}) - h_{min}(\mathbf{x}) \quad (3)$$

À partir de ces indicateurs, nous allons retenir les mailles  $\mathbf{x}$  qui ont une amplitude assez importante et qui remplissent les conditions suivantes :

- La profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  doit être supérieure à la profondeur atteinte par le piézomètre  $z_{well}$ .
- L'épaisseur entre le niveau maximal  $h_{max}$  et la surface du sol  $z_{top}$  doit être supérieure à l'augmentation du niveau marin moyen (Sea Level Rise) prévu par le GIEC.

$$\exists \mathbf{x}, \max(\Delta(\mathbf{x})) \begin{cases} z_{top} - h_{min} > z_{well} \\ z_{top} - h_{max} > SLR \end{cases} \quad (4)$$

Six catégories ont été définies de la façon suivante :

Catégorie 1 : la profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  comprise entre 2 et 8 mètres avec une amplitude supérieur à 2 mètres : Possibilité d'implanter un forage de 10 mètres.

Catégorie 2 : la profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  comprise entre 8 et 18 mètres avec une amplitude supérieur à 2 mètres : Possibilité d'implanter un forage de 20 mètres.

Catégorie 3 : la profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  comprise entre 2 et 8 mètres avec une amplitude insuffisante (inférieure à 2 mètres).

Catégorie 4 : la profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  comprise entre 8 et 18 mètres avec une amplitude insuffisante (inférieure à 2 mètres).

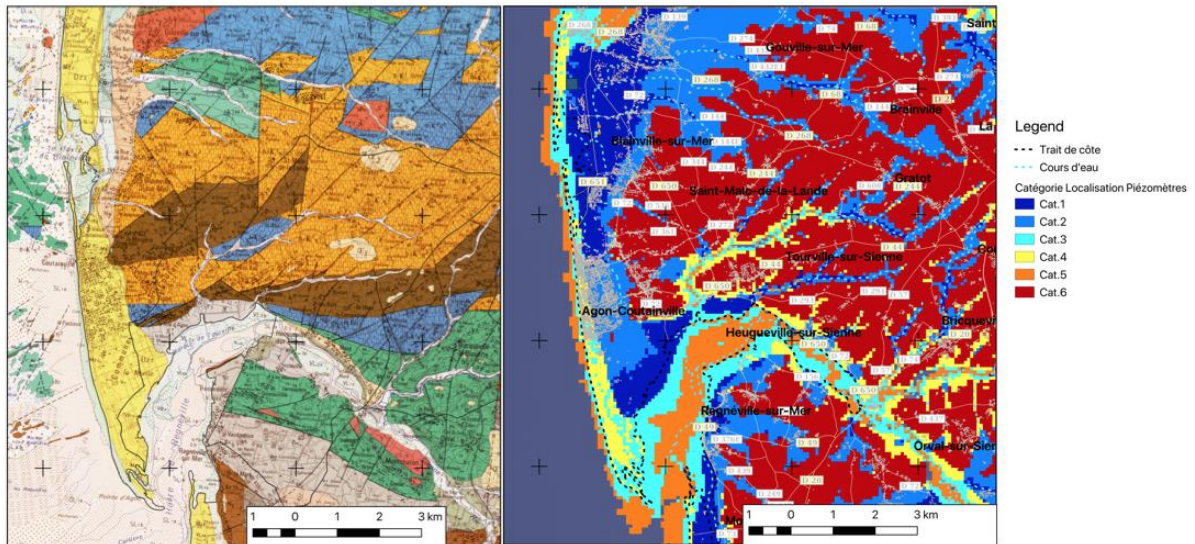
Catégorie 5 : le niveau maximale  $h_{max}$  est trop proche de la surface du sol : Déconseillé d'implanter un piézomètre.

Catégorie 6 : la profondeur maximale  $z_{top} - h_{min}$  est trop profonde : Déconseillé d'implanter un forage de 20 mètres.

### 3 Résultats de modélisation

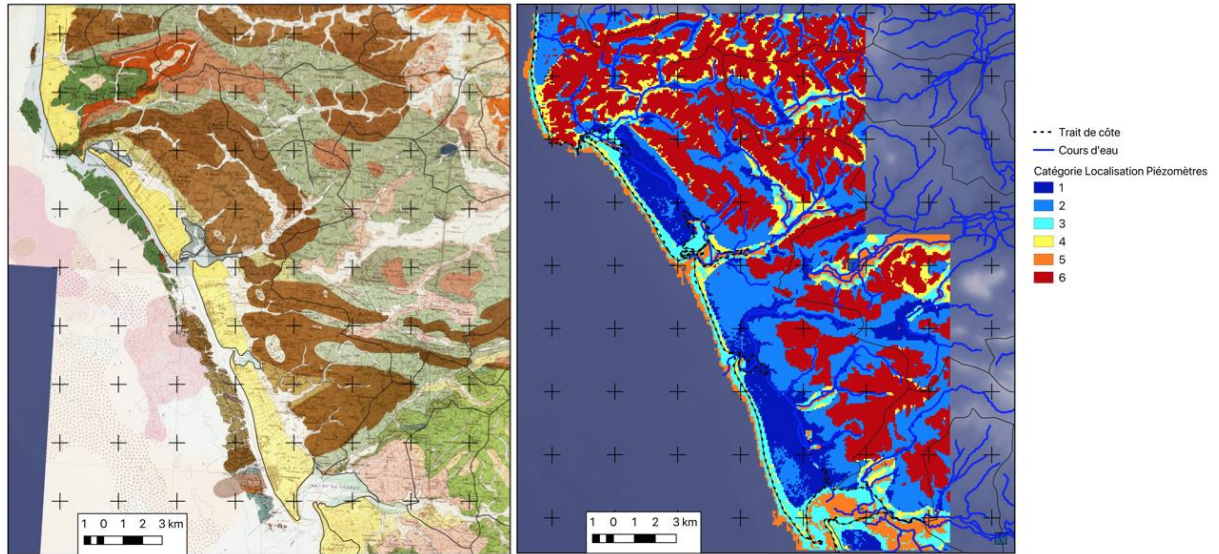
Avant de discuter l'ensemble des résultats, il est nécessaire de préciser que ces résultats sont à prendre avec du recul et qu'il est important de les interpréter en ayant en tête l'ensemble des hypothèses réaliser lors de la conception du modèle. Il faut prendre en compte que ces résultats sont issus d'un modèle homogène avec une perméabilité relativement forte. On peut tout à fait

poser l'hypothèse que lorsqu'on se déplace vers le continent, la perméabilité peut diminuer et comme on l'a montré avec l'exploration paramétrique, le niveau d'eau peut augmenter. L'épaisseur de la couche perméable peut aussi évoluer avec la topographie et impacter la transmissivité du milieu. On peut donc en déduire que la surface représentée en rouge correspondant à la catégorie 6 est en réalité plus faible que celle représenté par le modèle hydrologique.



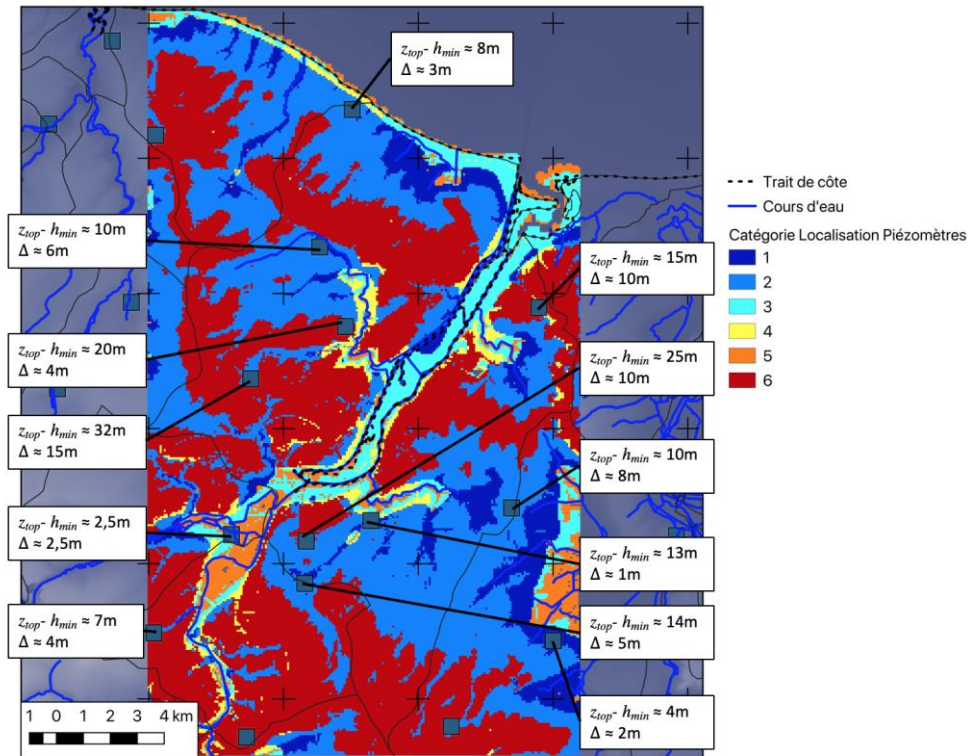
**Figure 5 - Carte géologique et représentation des différentes catégories issues du modèle hydrologique sur le site de la pointe d'Agon**

Les résultats de modélisation sur le site de la point d'Agon montrent que les zones où l'implantation de piézomètre est possible représentent relativement une faible bande de plus ou moins 1km le long de la côte (Figure 5). Les zones de catégorie 6 (zones rouges) correspondent aux zones situées sur les parties cristallines (substratum). Les résultats issus de la modélisation pour les sites de Saint-Germain-Sur-Ay à Barneville-Carteret montrent que pour ces deux sites d'étude, la bande située le long du littoral où il y a une possibilité d'implanter des piézomètres (zones bleus) laisse plus de choix dans la future localisation des piézomètres (Figure 6).



**Figure 6 - Carte géologique et représentation des différentes catégories issus du modèle hydrologique**

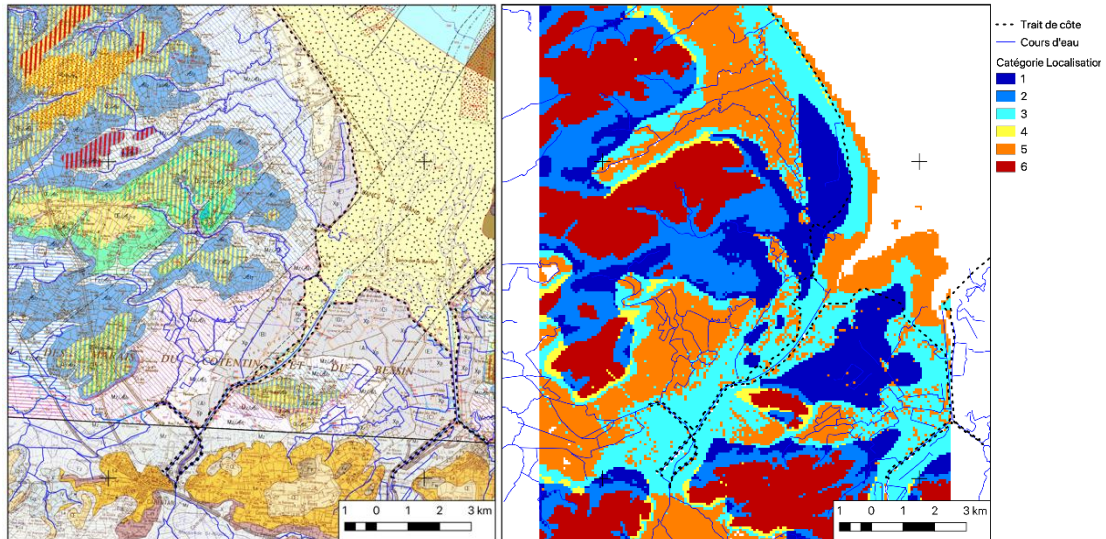
Les 5 sites d'étude ne reposent pas sur le même type de substrat. Le modèle correspond d'avantage à un milieu cristallin plutôt qu'à un milieu calcaire. Afin de vérifier que ce type de modèle corresponde aussi au site de Caen-la-Mer et de la Baie du Cotentin, une comparaison des indicateurs modélisés et observés sur les forages a été réalisée sur le site de Caen-la-mer.



**Figure 7 – Comparaison des indicateurs de profondeur maximal et de l’amplitude entre les valeurs modélisées et observées sur le site de Caen-la-Mer**

La profondeur maximal  $z_{top} - h_{min}$  et l’amplitude  $\Delta$  montre qu’il y a une bonne concordance entre les observations modélisées et observées (Figure 7). Ces résultats montrent que l’on peut utiliser ce modèle pour investiguer les sites reposant sur un milieu calcaire. Par conséquent, on observe d’après la modélisation, la possibilité de mettre en place sur le site de Caen la mer, des piézomètres sur la partie nord du modèles avec la présence d’une bande d’environ 2km permettant cette implantation. La rive ouest de l’Orne semble aussi être une zone de suivi notamment pour la problématique d’intrusion d’eau saline dans les aquifères superficiels.





**Figure 8 – Carte géologique et représentation des différentes catégories issus du modèle hydrologique sur le site de la Baie du Cotentin**

Les résultats issus de la modélisation pour le site de la Baie du Cotentin montrent une hétérogénéité dans l'organisation spatiale des catégories (Figure 8). Cette différence est principalement due à un relief moins marqué que sur les autres sites d'étude. On remarque cependant la possibilité d'implanter des piézomètres sur la zone de Brévand / Les Veys et sur les zones au nord de l'Orne.

#### **4 Localisation des piézomètres**

Comme défini dans la partie précédente, l'implantation standard proposée sur les sites d'étude est organisé en transect de trois piézomètres permettant d'obtenir des informations dans les trois zones caractérisant les sites (cordon dunaire, marais arrière littoral et la paléofalaise). Des forages de dix mètres seront placés dans les parties sableuses et de vingt mètres dans le substratum. Le substratum étant par définition un milieu plus hétérogène, le niveau de la nappe peu se trouver plus en profondeur que dans les parties sableuses.

La localisation des piézomètres proposée dans ce rapport ne sont pas les localisations définitives puisque nous souhaitons implanter ces équipements sur des parcelles publics. Ces propositions sont en cours de réalisation afin d'échanger avec les collectivités territoriales sur les emplacements définitifs. Les cartographies suivantes représentent les forages déjà présents sur les sites (carré bleu), la localisation proposée des forages de dix mètres (point rouge) et de vingt mètres (point bleu). Ces localisations sont affichées avec le fond de carte de l'IGN et la carte géologique au 1/50000ème issus du BRGM.

#### 4.1 Pointe d'Agon

La proposition de localisation des piézomètres sur le site de la pointe d'Agon est structuré d'une façon différente puisque d'une part un piézomètre est déjà présent dans le cordon dunaire avec un relevé du niveau d'eau sur plusieurs années et d'autre part la superficie du cordon dunaire est plus faible que les deux autres sites de la côte ouest de la Manche (Figure 9). Nous avons choisi de placer un forage de vingt mètres à l'interface entre le cordon dunaire et la partie substratum en complément du forage déjà présent. Ce forage permettra d'estimer les écoulements souterrains via le continent. Ensuite, nous proposons la mise en place d'un transect nord/sud avec un second forage de vingt mètres qui sera plus proche du trait de côte et deux forages de dix mètres permettant d'observer l'impact de l'effet de pointe et de la double influence maritime par la mer et le havre.

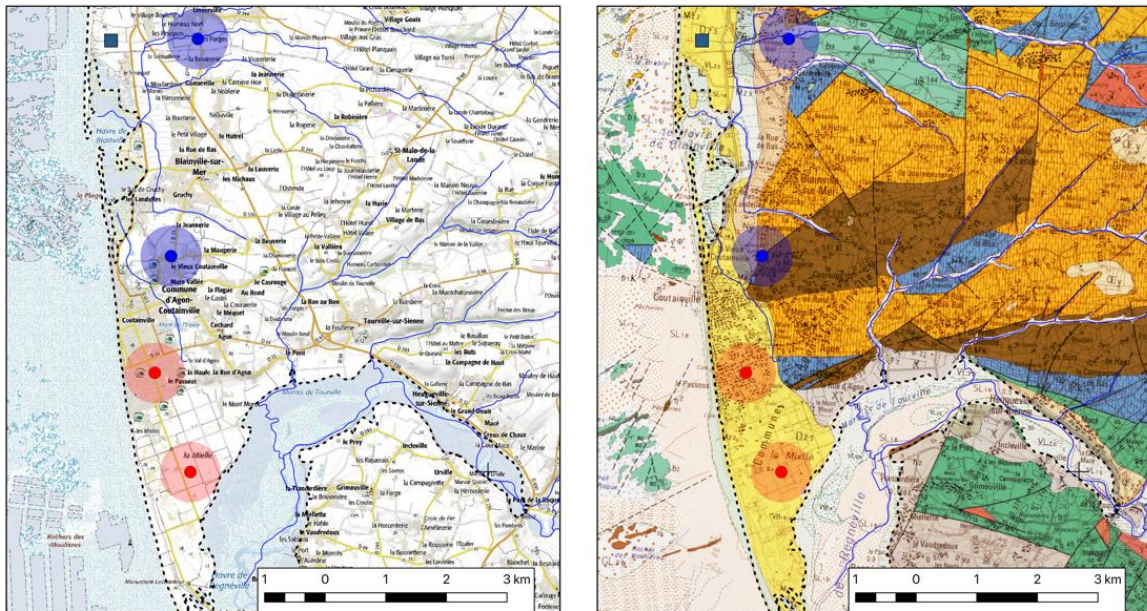
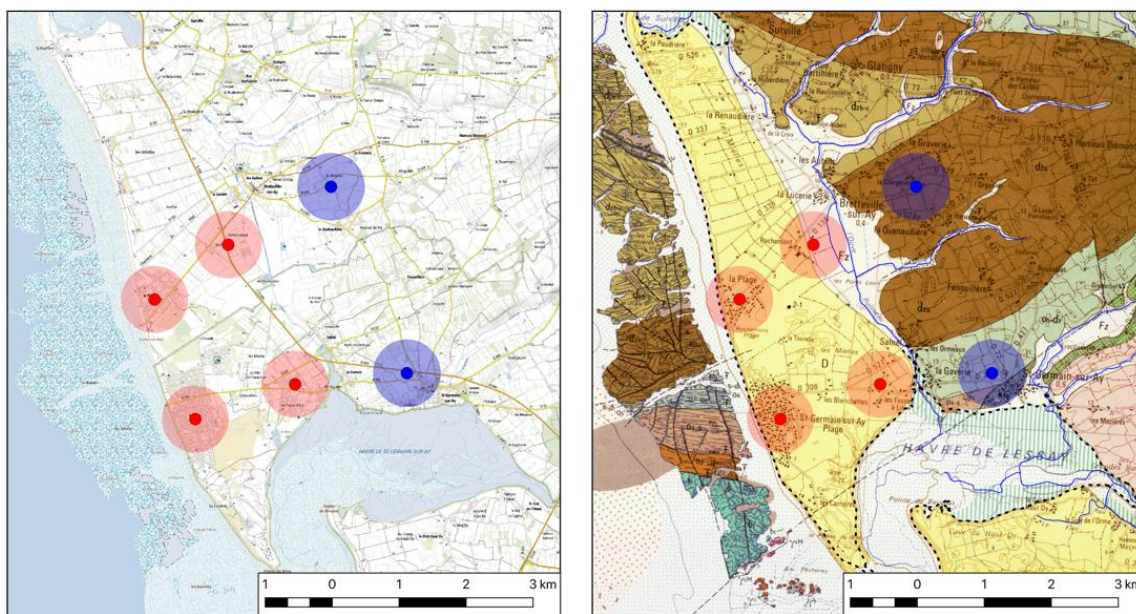


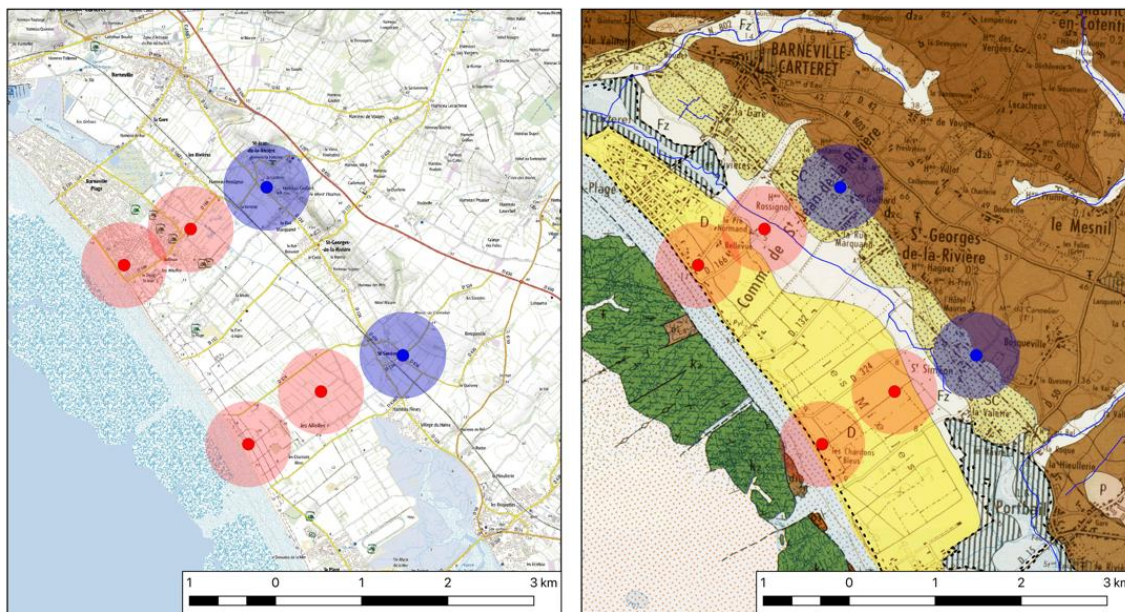
Figure 9 - Localisation provisoire des piézomètres du site de la pointe d'Agon (points bleus et rouges).

## 4.2 Saint-Germain-Sur-Ay & Barneville-Carteret



**Figure 10 - Localisation provisoire des piézomètres du site de la pointe de Saint-Germain-Sur-Ay (points bleus et rouges).**

La stratégie pour ces deux sites est identique. Nous proposons de mettre en place deux transects perpendiculaires au trait de côte permettant de couvrir spatialement l'ensemble du site d'étude. Concernant le site de Saint-Germain-Sur-Ay, nous souhaitons implanter un transect proche du Havre de Lessay permettant d'observer l'impact de la marée dans les aquifères qui bordent le havre (Figure 10). Le second transect a été placé entre l'Astérie et le Duy permettant d'obtenir une variation du niveau piézométrique dans le forage de vingt mètres assez suffisants puisque plus on se rapproche d'un cours d'eau et plus les variations de la nappe sont faibles. Il est donc nécessaire de s'écarter de ces cours d'eau pour avoir un signal exploitable pour la calibration des paramètres hydrauliques de ces structures géologiques.



**Figure 11 - Localisation provisoire des piézomètres du site de Barneville-Carteret (points noirs et rouges).**

Sur le site de Barneville-Carteret, les deux forages de vingt mètres sont tous les deux situés à l'interface entre le cordon dunaire et le substratum puisqu'on observe sur ce site, la plus forte rupture de pente (Figure 11). C'est-à-dire que l'altitude augmente rapidement lorsqu'on se déplace vers le continent et la possibilité d'observer une zone non-saturé devient plus forte. Afin d'éviter que la nappe d'eau se déconnecte des forages, nous avons choisi de les positionner en bas de la rupture de pente. Cela permettra aussi de capter les lignes de flux venant du continent plus en profondeur.

### 4.3 La Baie du Cotentin

Ce site comportant une organisation topographique et géologique bien différente des autres sites d'étude, a une stratégie d'implantation propre. Nous souhaitons sur ce site implanter 4 transects de deux piézomètres (Figure 12). Un transect situé au nord entre Sainte-Marie-du-Mont et Saint-Martin-de-Varreville permettra d'observer directement la dynamique de l'aquifère côtier de la même façon que les 3 sites précédents. Un transect situé sur Brévands – Les Veys pour obtenir l'information de la triple influence par la mer au nord, la Taute à l'ouest et la Vire à l'est. Les deux derniers transects situés sur la rive nord de la Taute permettront de mettre en évidence l'impact des portes à flots en plaçant un transect en amont et un en aval de ces portes.

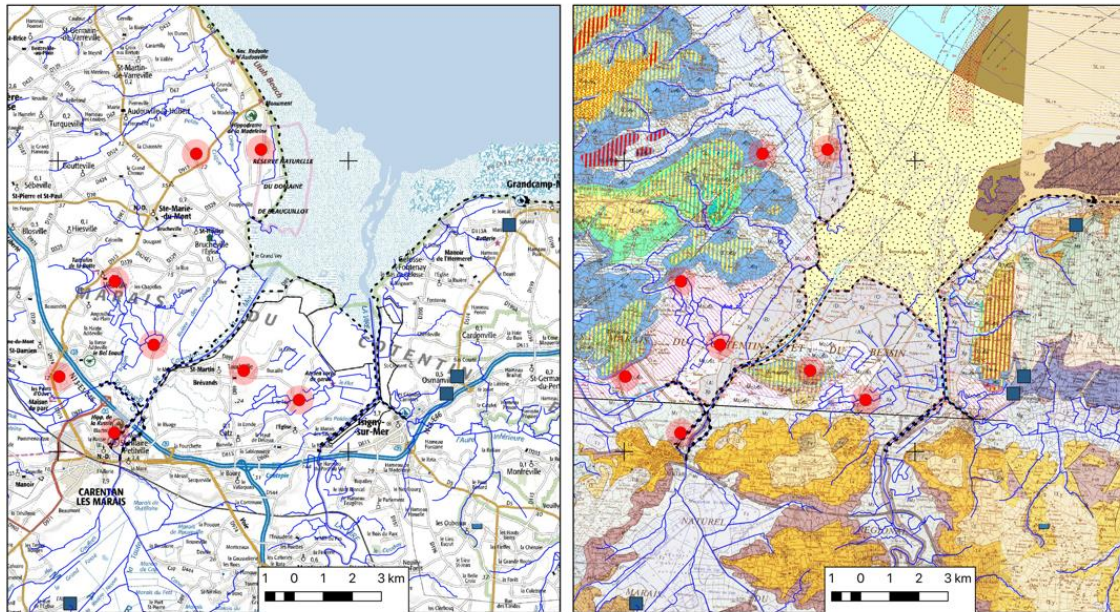


Figure 12 - Localisation provisoire des piézomètres du site de la Baie du Cotentin (points noirs et rouges).

#### 4.4 Caen-la-Mer

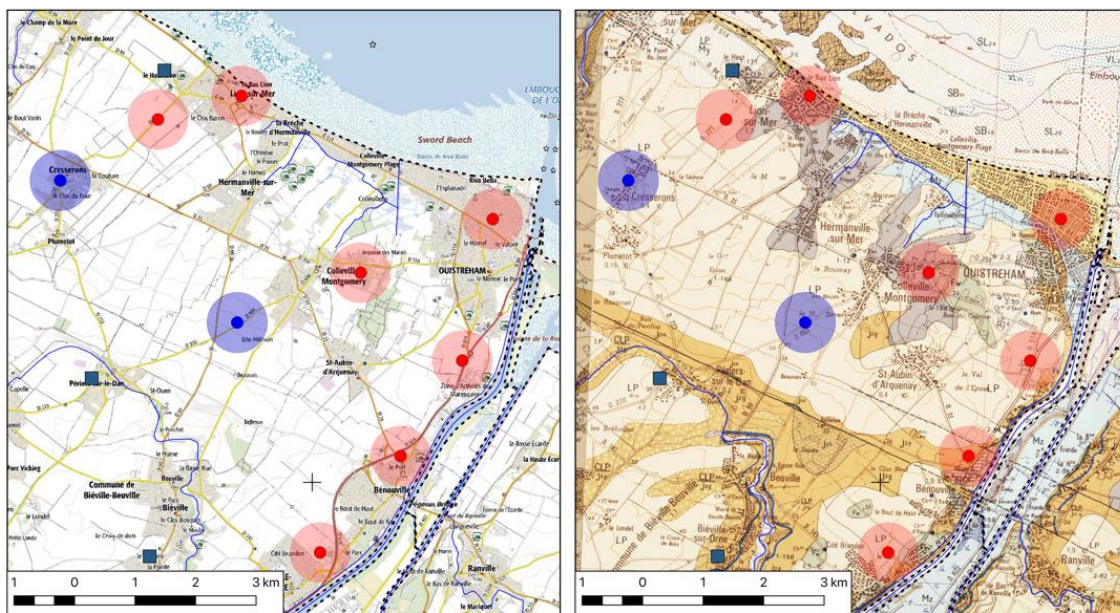


Figure 13 - Localisation provisoire des piézomètres du site de Caen-la-Mer (points noirs et rouges).

Deux transects ont été définis, un situé dans l'axe Ouistreham / Colleville-Montgomery et l'autre dans l'axe Lion-sur-Mer / Cresserons (Figure 13). Ces deux transects permettront de caractériser l'apport du milieu calcaire vers l'aquifère côtier de la même façon que les trois sites d'étude de la côte ouest vont caractériser les apports du milieu cristallin. Ensuite, nous

## Projet RIVAGES Normands 2100

proposons un transect de trois piézomètres parallèles à l'Orne qui permettra de venir en complément des instruments implantés par le Conservatoire du Littoral pour un projet de dépoldérisation sur la rive est de l'Orne. Ce transect permettra d'observer d'une part l'impact de la marée sur la dynamique de l'aquifère lorsqu'elle pénètre dans l'Orne mais aussi comment la salinité se propage dans ces aquifères superficiels.