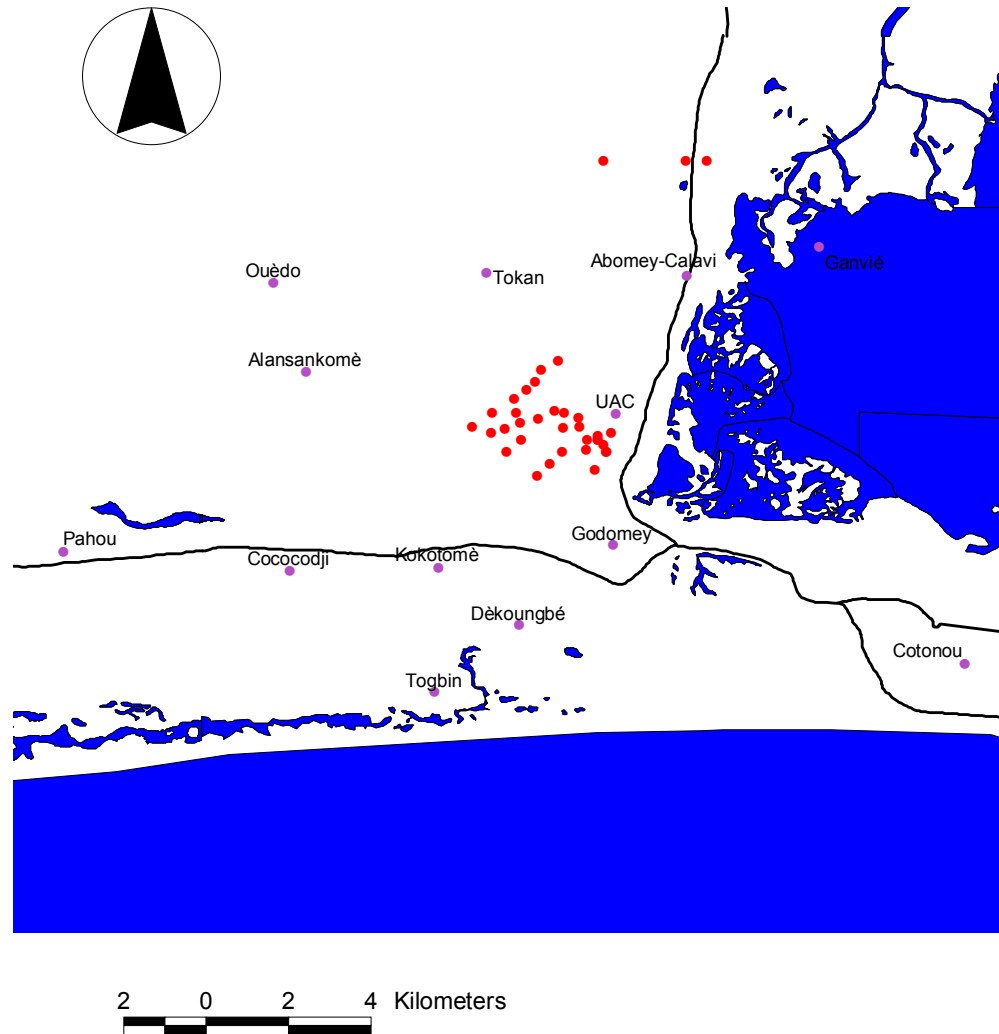


Modélisation de l'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères du "Continental Terminal" et du Quaternaire littoral du bassin sédimentaire côtier du Bénin (Afrique de l'Ouest)

Model for the groundwater flow in the aquifers of the "Continental Terminal" and the littoral Quaternary of the coastal sedimentary basin of Benin (West Africa)

Moussa Boukari¹, Ouorou Moussa², Félix Azonsi² & Peter Viaene³

LE SITE DE GODOMEY



OBJECTIFS

- Analyser le système aquifère de Godomey pour mieux comprendre son fonctionnement:
 - évaluer dans le temps et l'espace:
 - les rabattements induits par les pompages
 - la provenance de l'eau entrant dans le périmètre de captages (réseaux d'écoulement);

OBJECTIFS (suite)

- le bilan d'eau du système aquifère, notamment:
 - ✓ les volumes de recharge des nappes dans le secteur de Godomey ;
 - ✓ les volumes de drainage par les lagunes, lacs et cours d'eau environnants ;
- le phénomène d'intrusion saline qui affecte le système aquifère ;

OBJECTIFS (suite et fin)

→ Simuler des scénarios d'exploitations:

- effet de l'augmentation des pompages existants
- effet de nouveaux forages dans le champ
- effet de changements climatiques

➤ **Modèle de Gestion**

Méthodologie/Etapes du Travail

- Digitalisation des données d'entrée pour le modèle dans les limites du domaine choisi;
 - Topographie (**logiciel Surfer**) : carte altimétrique;
 - Géologie (**logiciel GeoEditor**): à partir de transformations des données géologiques brutes (positions et logs stratigraphiques des ouvrages mécaniques existants) : on aboutit à une identification des couches hydrogéologiquement perméables (aquifères) et imperméables (aquicludes) ;

Méthodologie/Etapes du Travail (suite)

- Ouvrages d'exploitation (Forages) : position et débits pompés ;
- Ouvrages d'observation (piézomètres): positions et charges observées
- Eaux de surface: extension et échanges avec le système à modéliser
- Recharge de la nappe: précipitations, ETR, apports latéraux ;

Méthodologie/Etapes du Travail (suite et fin)

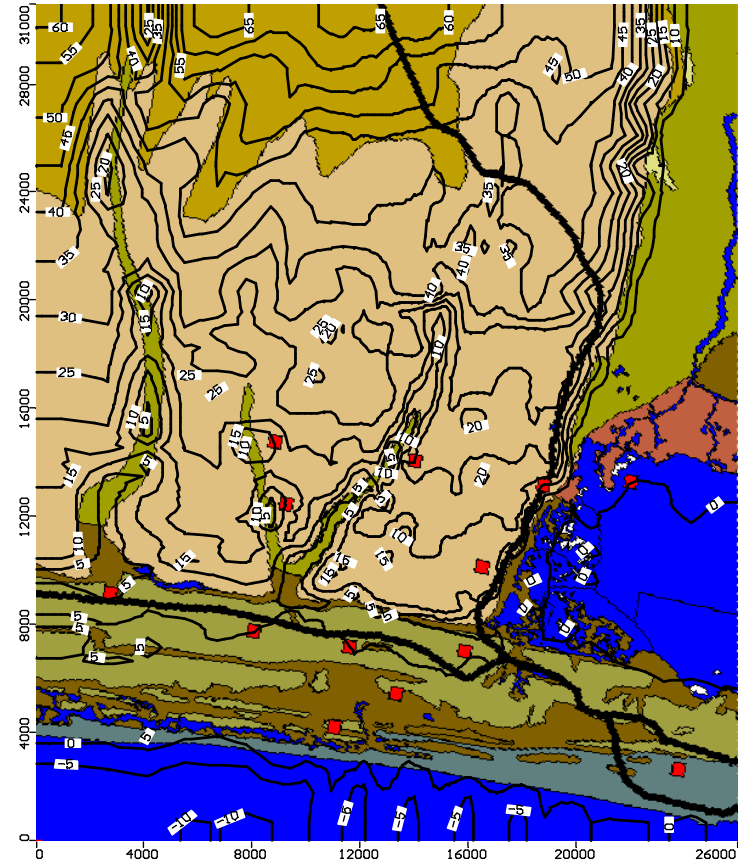
- **Simulation logiciel Modflow (différences finies)**: maillage du domaine choisi en tenant compte des critères informatiques et numériques (limitation des volumes de calcul, précision des calculs dans les secteurs de forts gradients hydrauliques etc.);

Données d'entrée

- Propriétés:
 - Réservoir :
 - Porosité
 - épaisseur
 - extension latérale
 - Fluide :
 - viscosité
 - Pour l'Ensemble du système:
 - conductivité hydraulique,
 - coefficient d'emmagasinement

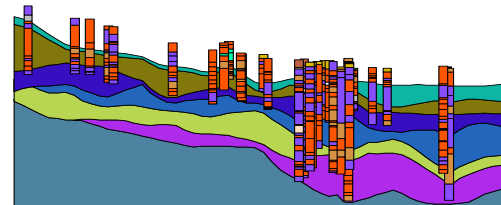
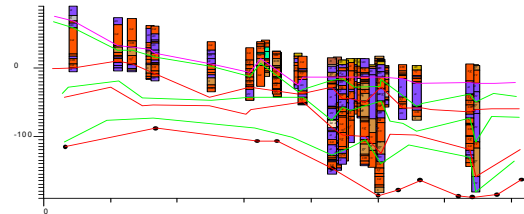
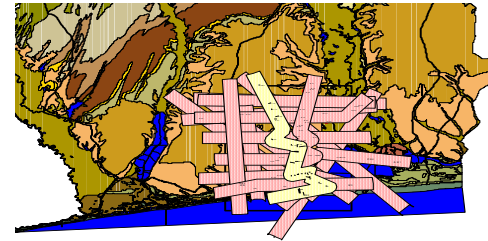
Fond géologique (affleurements) et topographique

- CT
- TB
- Sable jaune
- Sables gris et bruns
- Vase



Profils de coupes et exemple de coupe interpolée avec GeoEditor

- Coupe selon le profil OP
- La 1ère couche n'est pas colorée
- 7 couches lithologiques différenciées



Maillage et Conditions aux limites (ModFlow)

Maillage

500x1000 m et 230x250m

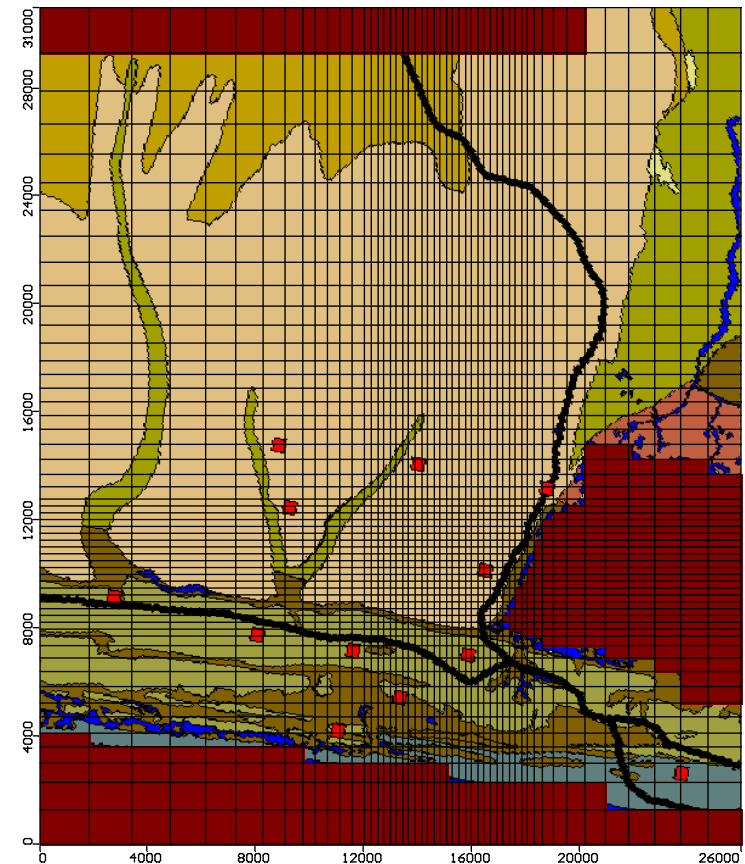
Conditions aux Limites.

Charges imposées

Océan, Lac, Chenal, Ligne
isopièze de 15m au Nord

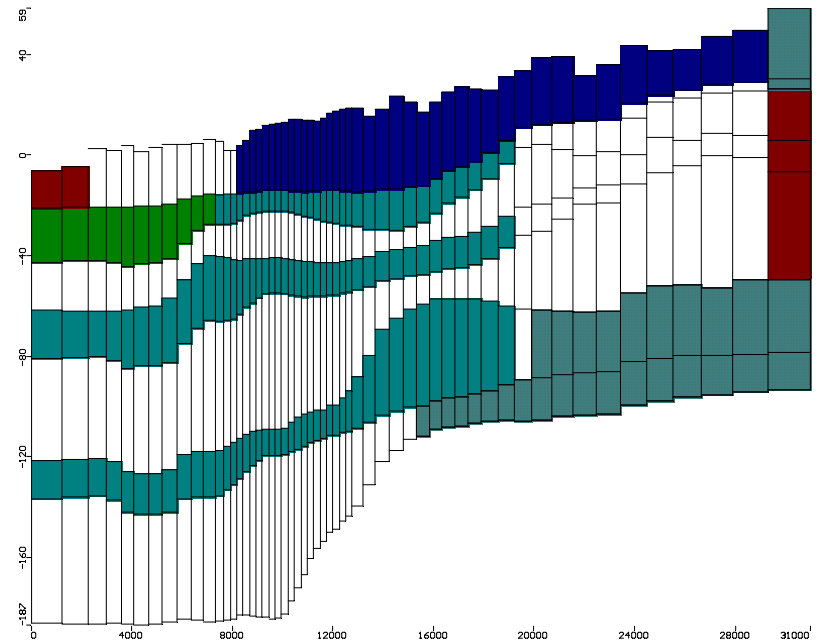
Flux nuls

Rivières, Drains, Recharge

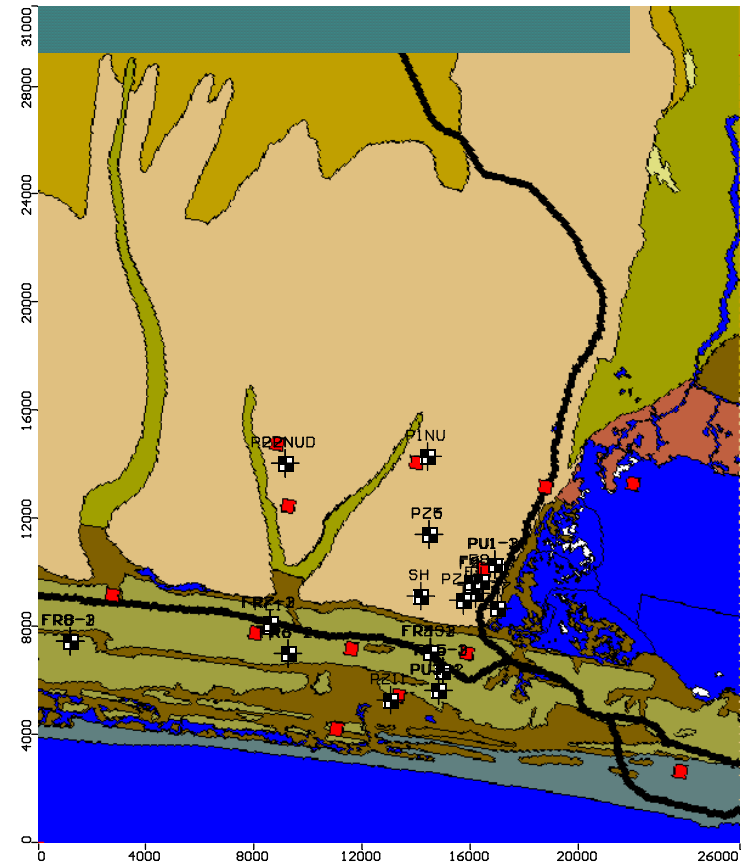
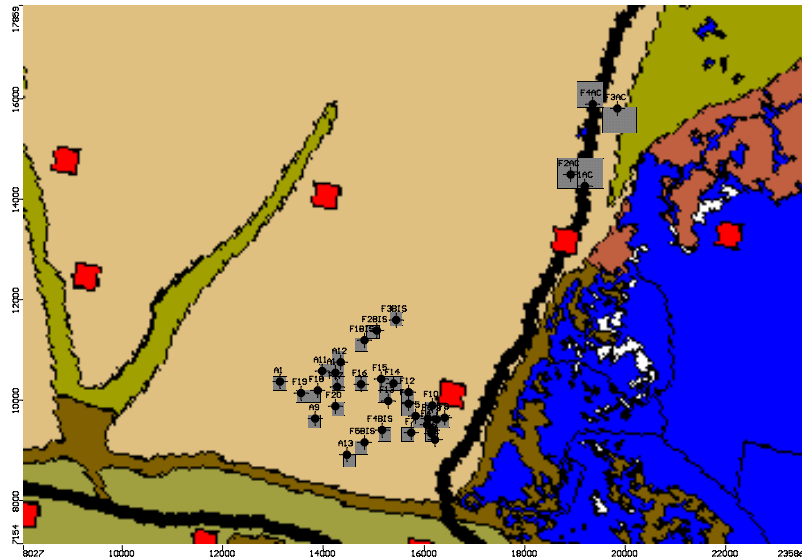


Propriétés hydrauliques et charges imposées (vue en coupe)

- Terre de Barre en bleu foncé
- Sable en blanc
- Argiles en vert et bleu clair



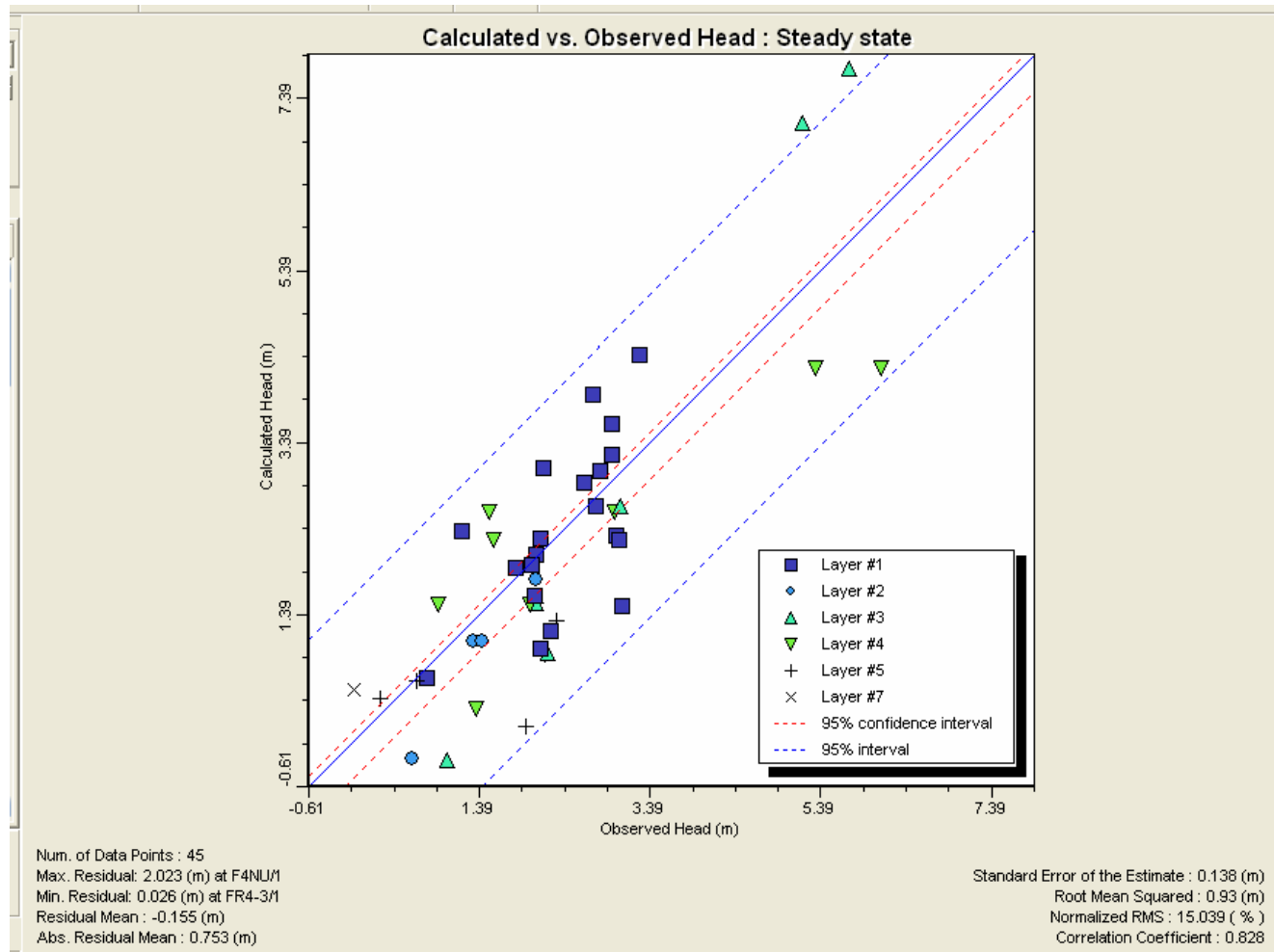
Forages d'exploitation et piézomètres de référence



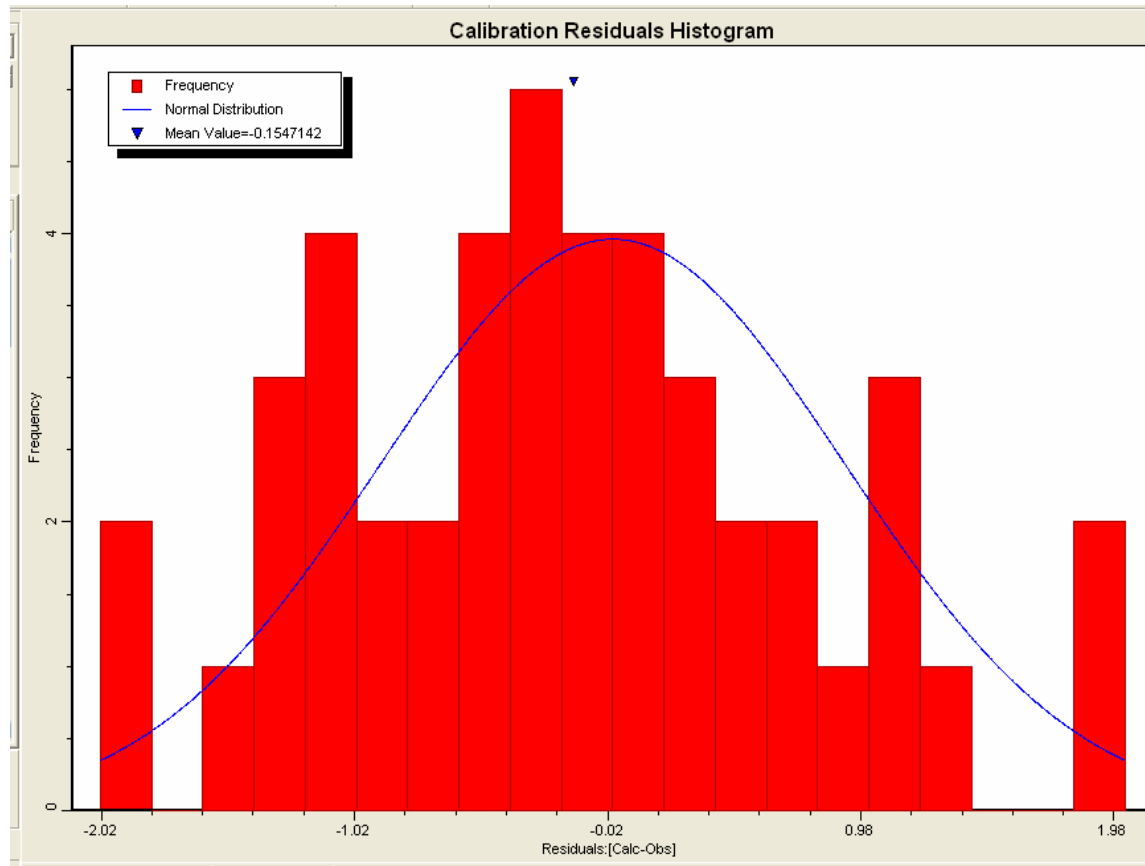
RESULTATS:

**Régime Permanent ou
stationnaire**

Charges observées vs charges calculées

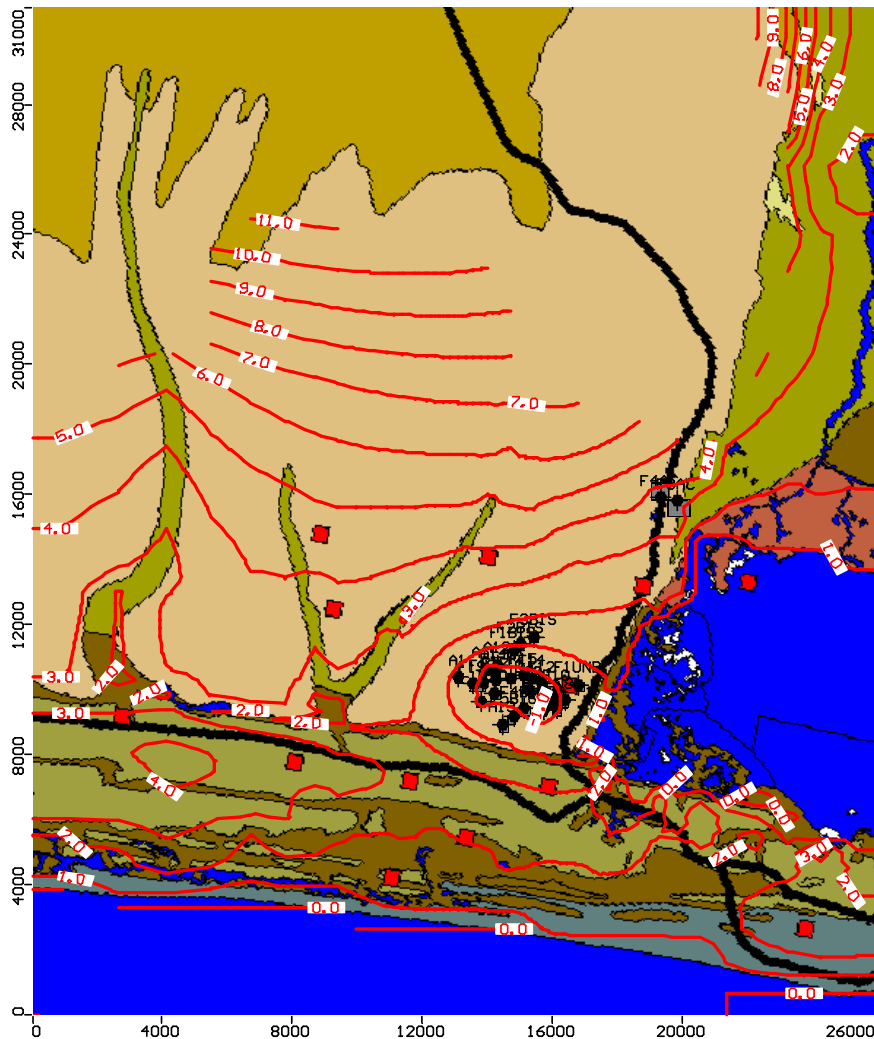


Histogramme des résidus de calage

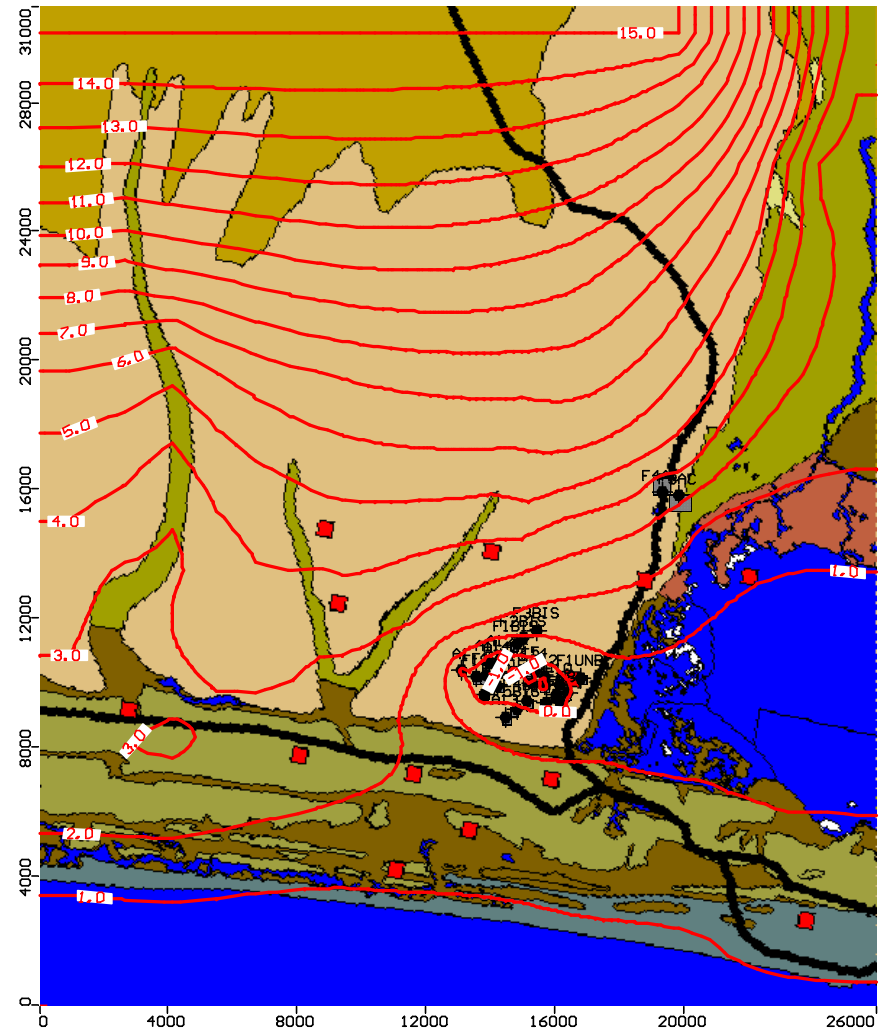


Charges hydrauliques calculées

- **Couche 1**

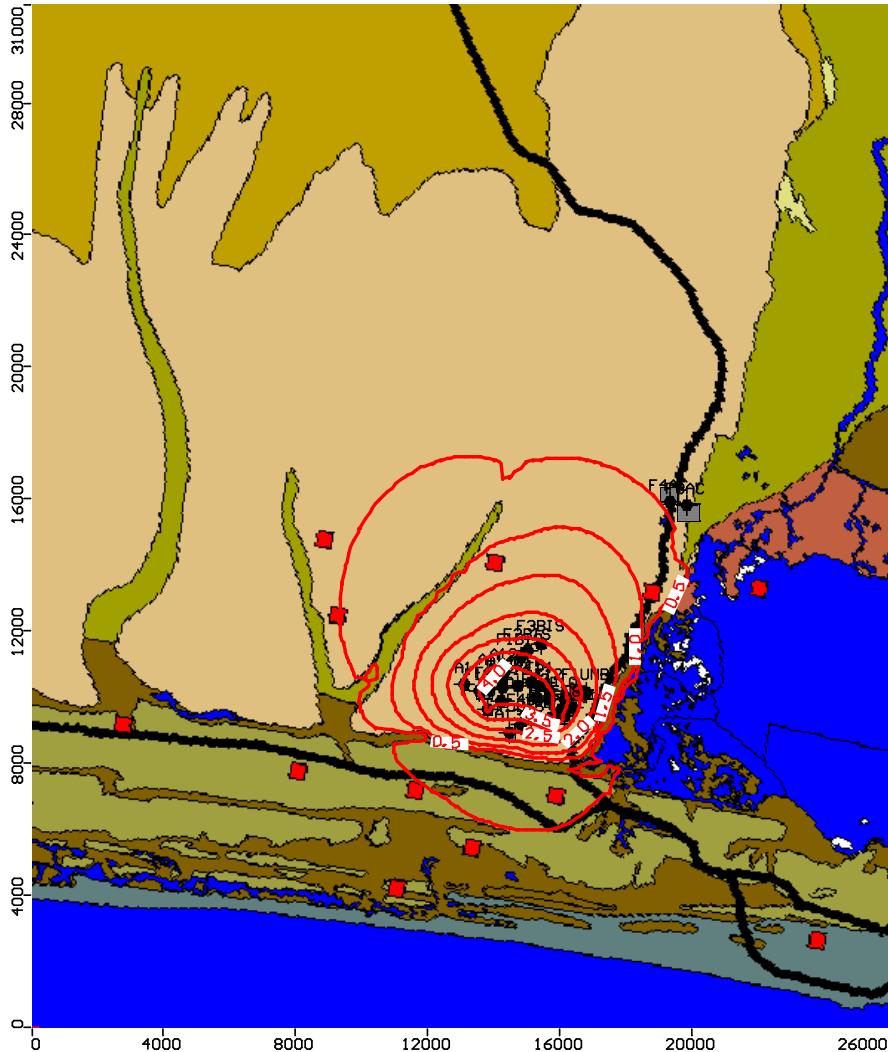


- **Couche 5**

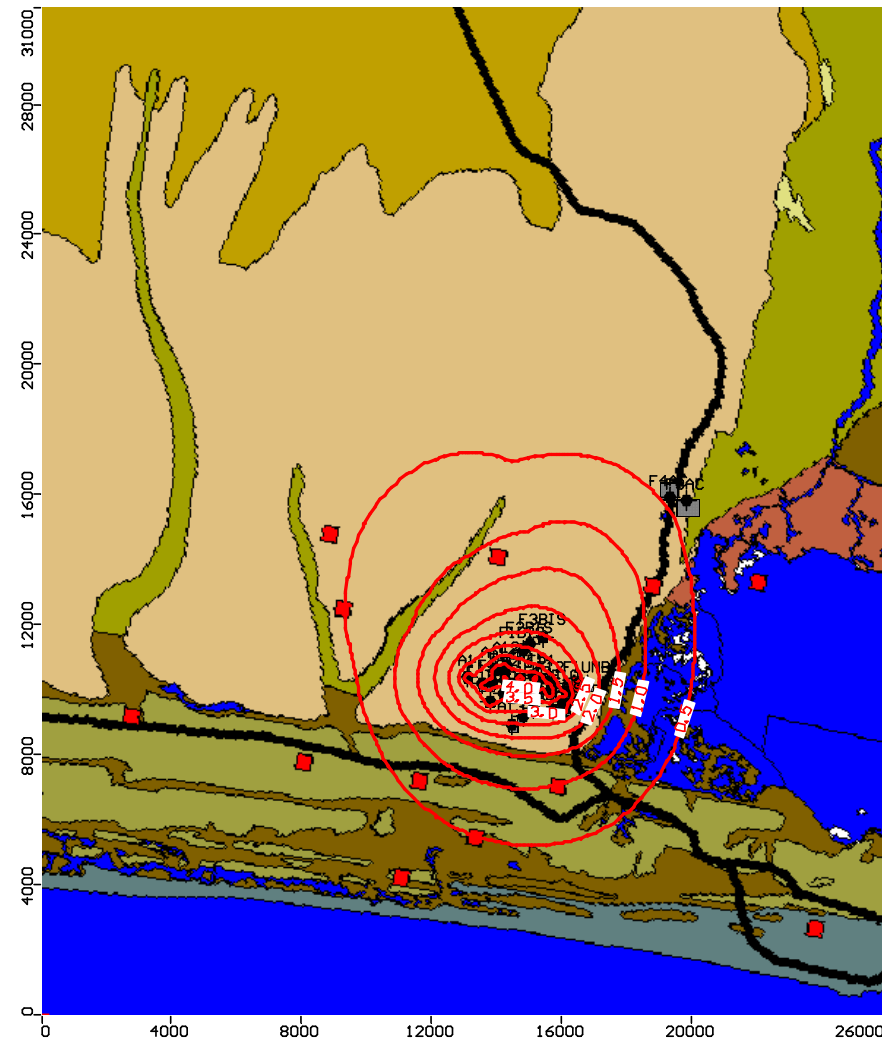


Rabattements calculées

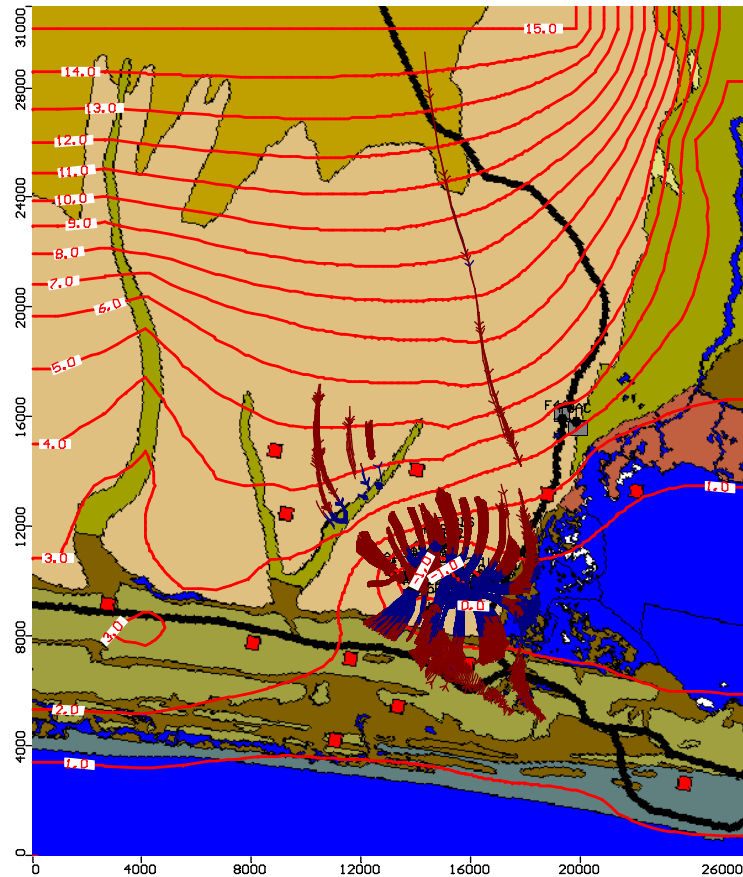
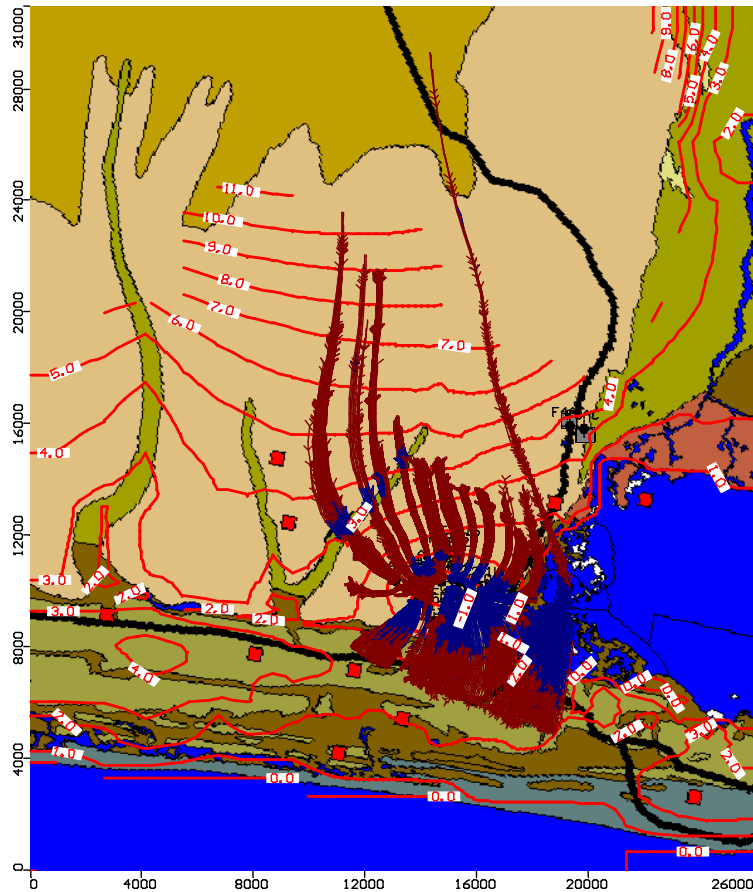
- **Couche 1**



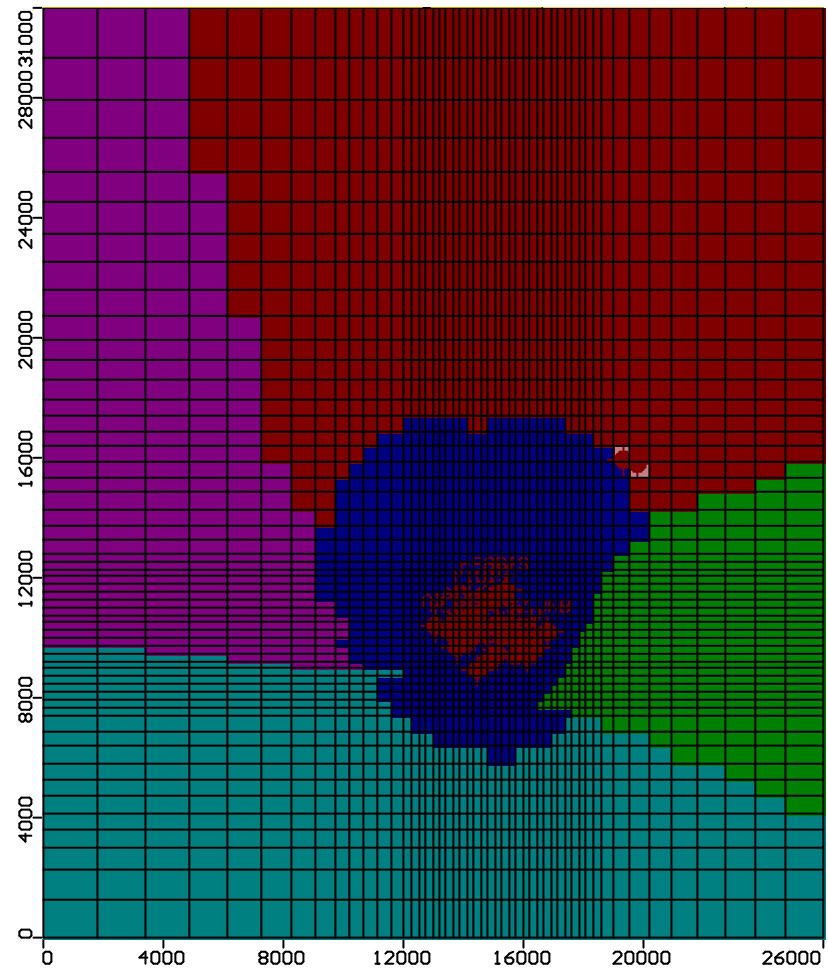
- **Couche 5**



Lignes d'écoulement pour les couches 1 et 5



Bilan d'eau

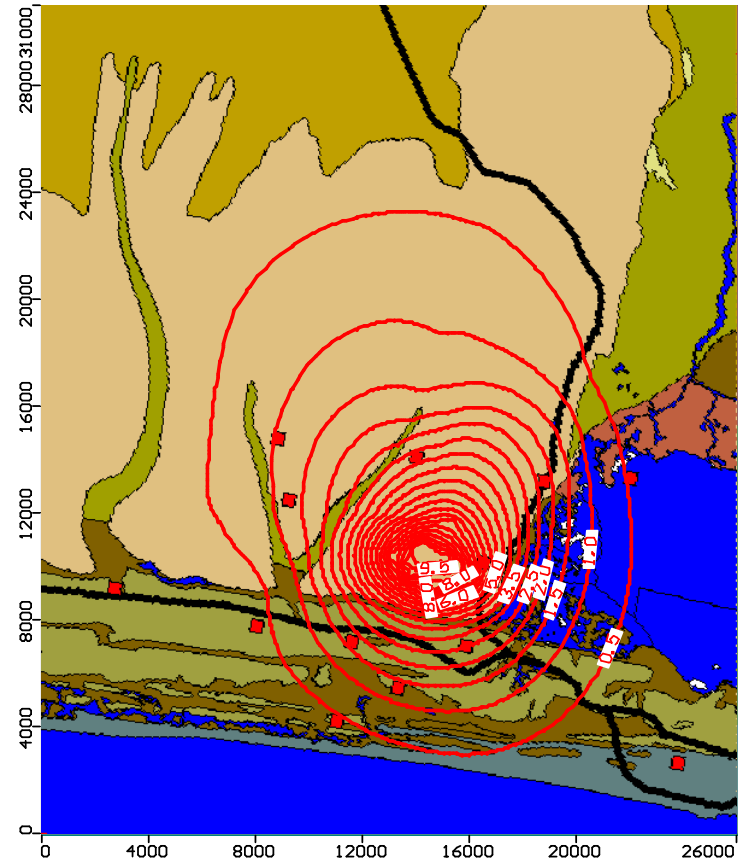
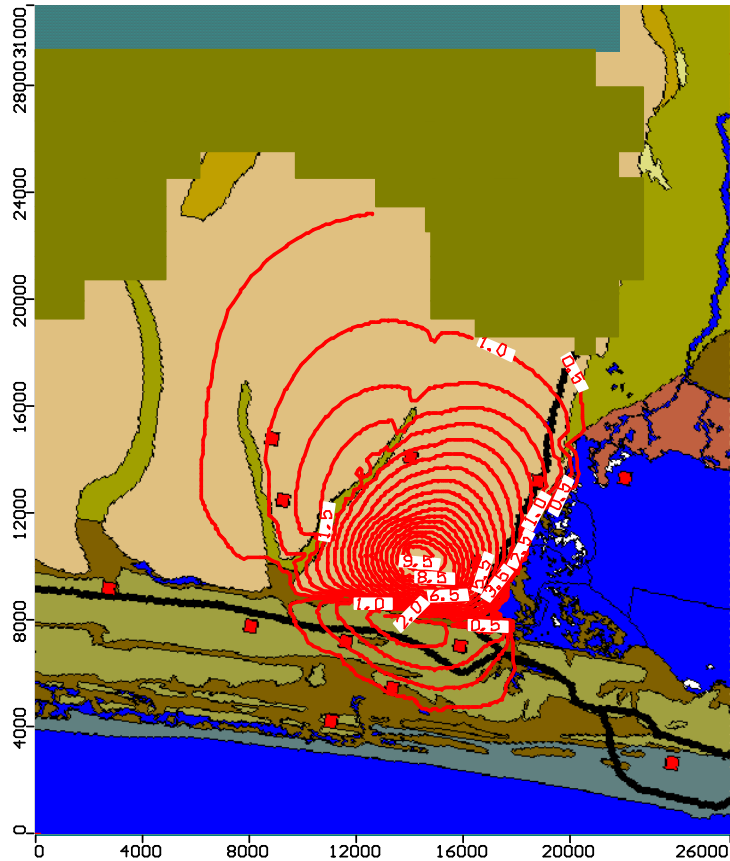


Bilan d'eau

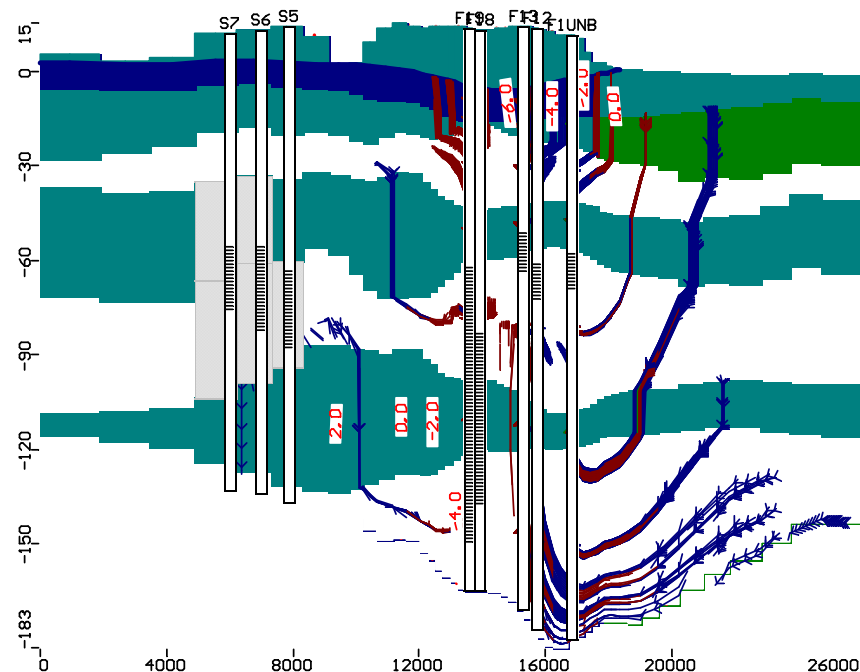
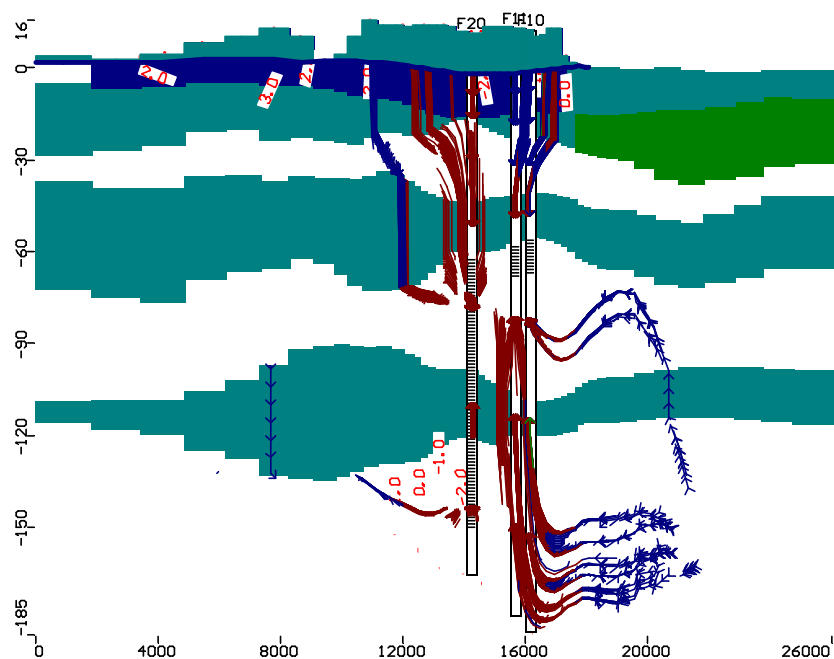
	Entrées (m3/jour)	Sorties (m3/jour)
Pompages	0.0	22613.0
Recharge	23577.00	0.0
Eaux de surface	0.0	6313.8
Zone est	449.80	1044.8
Zone lac	1511.9	3713.4
Zone sud	2280.6	678.6
Zone nord	7769.8	1225.5
Total	35589.0	35589.0

Scénarios simulés

Exemple: Rabattements conditions de 2011 pour couche 1 et couche 5 (Risque d'intrusion saline dans le champ)



Vues en coupe des lignes d'écoulement conditions actuelles et conditions de 2011 sans ajout de nouveaux forages



**Bilan d'eau pour le scénario d'exploitation prévisionnelle de
2011 par simple augmentation des débits des forages existants (x 1.6)**

<p><u>Zone influencée par les pompages intensifs en 2000</u> <u>Superficie: 88.1548 Km²</u> <u>ENTRÉES</u> Pompages = 0.00 m³/j Drains = 0.00 m³/j Recharge = 23 577.00 m³/j Rivières = 4 704.10 m³/j Zone Ouest = 2 290.60 m³/j Zone du Lac = 10 643.00 m³/j Zone Sud = 10 196.00 m³/j Zone Nord = 10 527.00 m³/j Total ENTRÉES = 61 937.00 m³/j</p>	<p><u>SORTIES</u> Pompages = 56 262.00 m³/j Drains = 709.23 m³/j Recharge = 0.00 m³/j Rivières = 0.00 m³/j Zone Ouest = 431.56 m³/j Zone du Lac = 3 423.60 m³/j Zone Sud = 556.70 m³/j Zone Nord = 553.70 m³/j Total SORTIES = 61 937.00 m³/j Différence: ENTRÉES - SORTIES = 9.7831 E-5 m³/j Pourcentage de dispersion = 0%</p>
--	--

CONCLUSION

- Il en ressort que dans les conditions du régime permanent:
 - 1-Le cône de dépression occasionné par les pompages intensifs actuels (2003) va passer la barre de 0 m pour se situer à environ -2 m pour la nappe supérieure superficielle (couche 1) et – 3 m pour la nappe inférieure la plus captée (couche 5); **cette situation crée un risque potentiel d'intrusion saline dans le champ ; ce risque s'aggraverait si l'on augmentait encore le débit de pompage dans ce même champ ou dans ses voisinages immédiats (scénarios 3 et 5) ;** il est moindre du côté de l'océan au Sud où il existe une ligne de partage des eaux souterraines entre le champ et la ligne de rivage ; il est par contre menaçant du côté du lac Nokoué qui jouxte plutôt le champ à l'Est ; le début de salinisation déjà constaté au niveau des forages les plus proches de ce lac confirme cette appréhension ;

CONCLUSION (suite)

- 2- Les écoulements vers le champ de captage sont sub-verticaux et latéraux; les écoulements latéraux viennent préférentiellement du Nord (plateau) puis du Sud (plaine littorale); les écoulements en provenance de l'Est et surtout de l'Ouest sont moindres mais non nuls comme les bilans d'eau l'ont prouvé ; les forages captant l'aquifère supérieur superficiel (couche 1) et le premier aquifère inférieur (couche 3) sont alimentés essentiellement par le système d'écoulement local; ils sont donc relativement vulnérables à la pollution à partir de la surface; les forages captant le 2ème aquifère inférieur (couche 5) notamment, les plus nombreux, sont alimentés par les systèmes d'écoulement intermédiaire et régional ; ils sont par conséquent moins vulnérables à la pollution superficielle ; le caractère régional du système d'écoulement éloigné augmente avec l'augmentation des débits de pompage (voir scénario 5).

CONCLUSION (suite)

- 3- Les rabattements consécutifs au débit global de pompage actuel (2003) sont de l'ordre de 5.5 m pour l'aquifère supérieur (couche 1) et de l'ordre de 6.5 m pour l'aquifère inférieur (couche 5) ; ils augmentent rapidement avec l'augmentation du débit global de pompage (scénario 5, de l'ordre de 9.5 m pour les deux aquifères) ;

CONCLUSION (suite et fin)

4- Le bilan d'eau pour le niveau de pompage actuel (2003) montre que :

- l'essentiel des apports d'eau dans le périmètre de captage est représenté par la recharge (57%), suivie des apports souterrains latéraux nord (21%), sud (11%), est ou côté lac (09%) et ouest (02%) ; la lagune Djonou n'intervient que pour 0.8% ; la part de la zone du lac dans ces apports augmente avec l'augmentation du débit global de pompage (17% contre 09% actuel pour le scénario 5);
- les sorties du périmètre de captage sont représentés essentiellement par les pompages (79%), les pertes vers la zone du lac (08%), le drainage par les dépressions (07%), les pertes vers la lagune Djonou (0.9%) et les pertes latérales souterraines vers le Nord (2.4%), l'Ouest (1.6%) et le Sud (01%) ;

Perspectives

- Améliorer et finaliser le calage du modèle en régime transitoire;
- Prendre en compte l'effet de densité dans les calculs;
- Faire du modèle un véritable outil de gestion des ressources en eaux souterraines du site de Godomey
- Continuer de se servir de cette technique pour construire des modèles d'autres nappes et pour évaluer des projets basés sur la modélisation hydrogéologique;

**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION
VOS CONTRIBUTIONS
SONT ATTENDUES**