



Elaboration d'un outil de gestion des prélèvements d'eau sur le bassin de l'Avre

*COPIL 5 : phase 4 : modélisation
hydrogéologique*



Ordre du jour

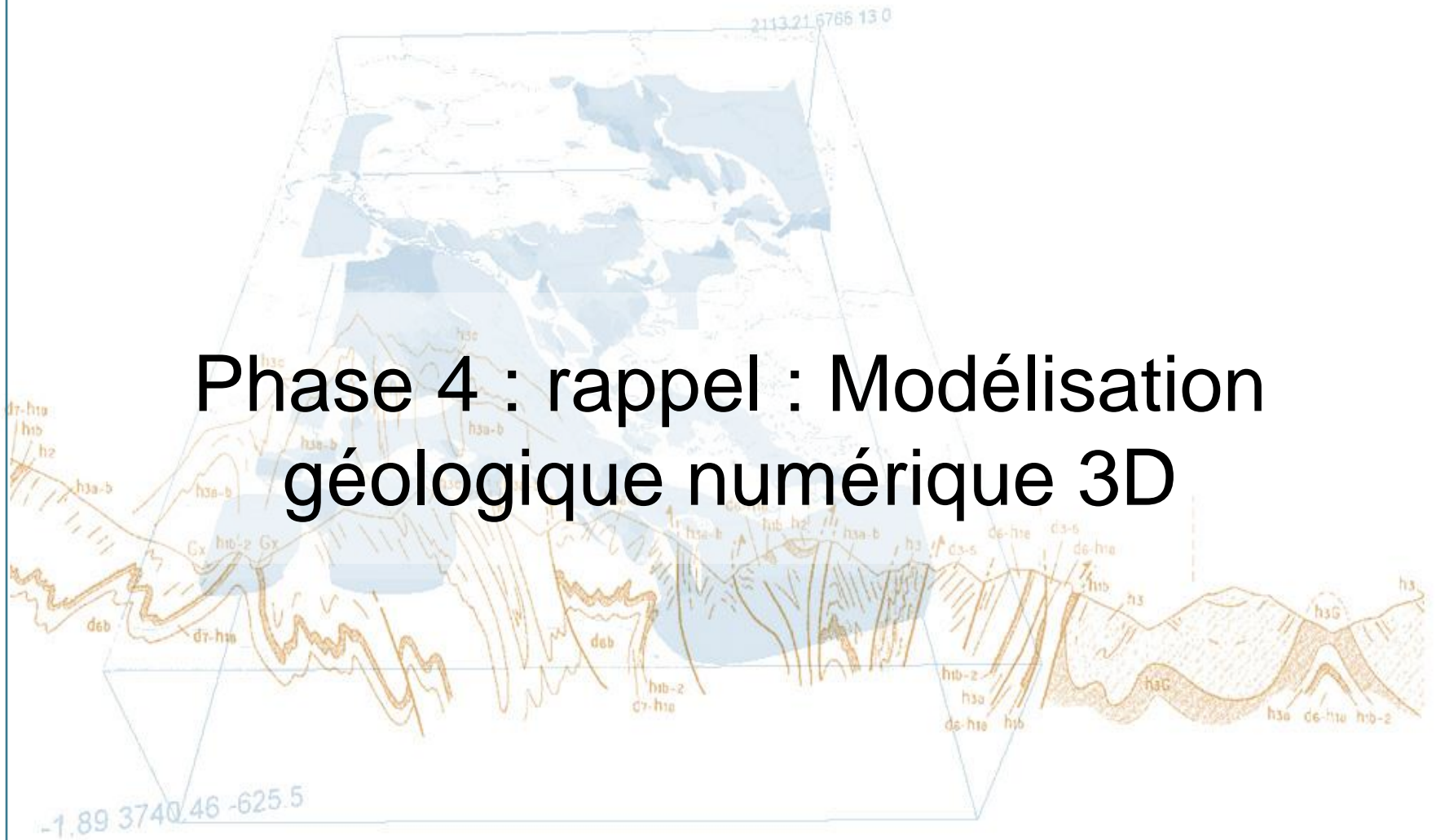
- ✓ **Avancement** du modèle hydrogéologique (BRGM – Marie Servière)
- ✓ Avancement de la définition des débits biologique (SIVA/SAGE Avre – Eléna Puppini)
- ✓ Discussion pour la définition des scénarios (BRGM – Pierre-Yann David)



Phase 4 : Avancement du modèle hydrogéologique



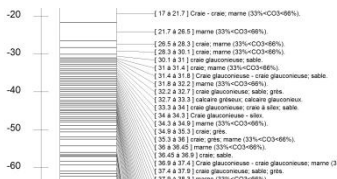
Phase 4 : rappel : Modélisation géologique numérique 3D



Phase 4 : Modèle géologique 3D (rappel)

Principe de la modélisation géologique 3D sous **GDM Multilayer**

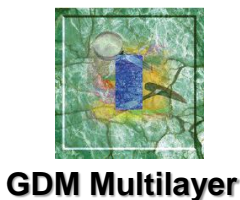
Données géologiques



Pile stratigraphique

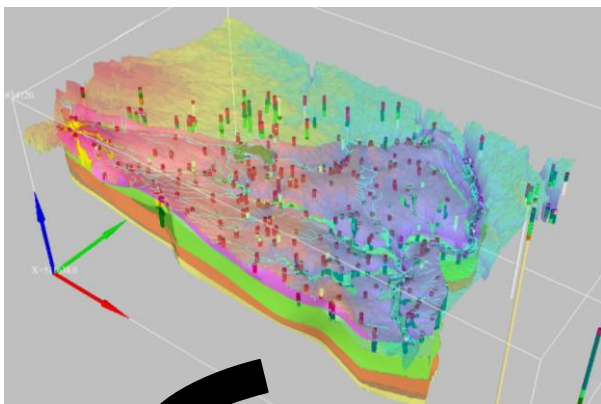
Formation	Type Surf.	Description
ALLU		ALLUvions
ARGS	EROD	ARGiles à Silex
SEWO	EROD	SENOrien
CENS		CENomanien Supérieur
PERC		Sable de PERChe
CENI		CENomanien Inférieur
CENB		CENomanien Basal
GAUL		GAULT
BASE	EROD	BASE

Codage



- Grille de calcul à la maille 100 m
- Méthode d'interpolation des données codées

Résultats



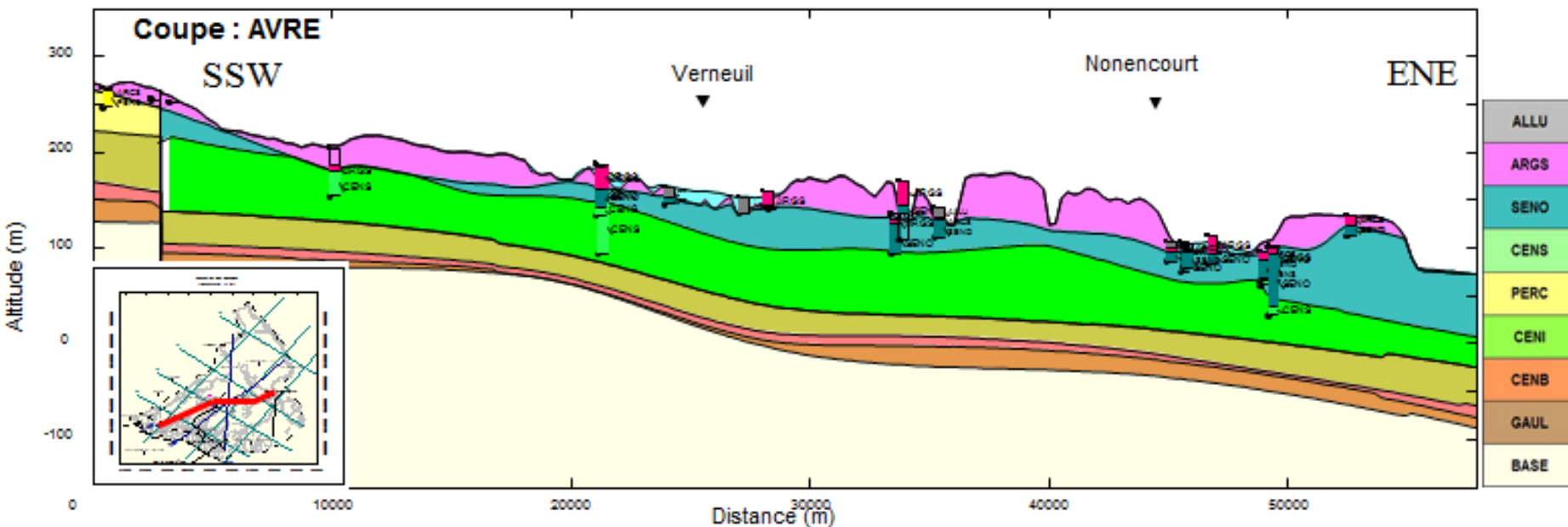
Contrôles de cohérence des données

Interpolation et Combinaison

Confrontation à la données

Phase 4 : Modèle géologique

Modélisation de **9** formations sédimentaires (multicouches) décrites par la **pile géologique (stratigraphique)**

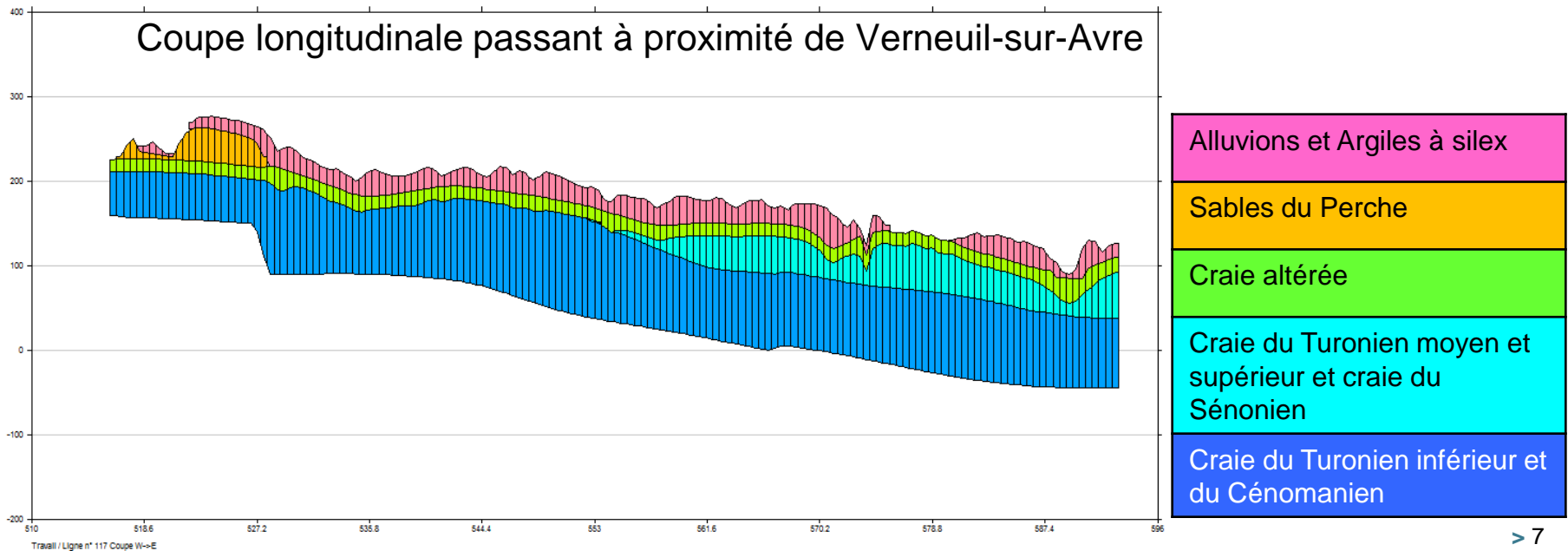


Prolongation des sables du perche au Nord de la faille de Senonche pourra être revue à l'avenir si des sondages profonds sont réalisés dans ce secteur un jour.

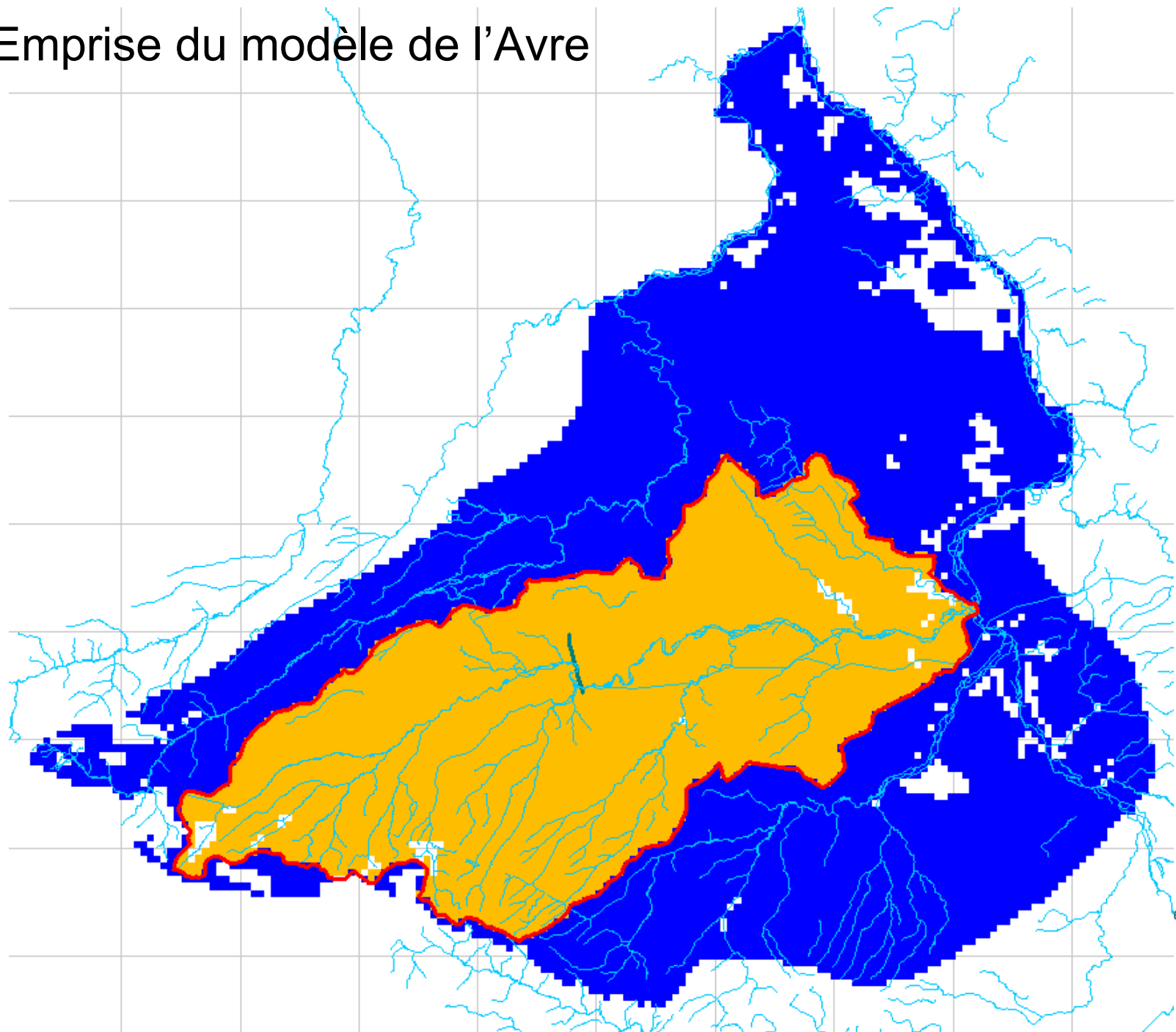
Construction du modèle hydrogéologique du bassin de l'Avre

Sur la base de considérations hydrogéologiques la géométrie du modèle a été adaptée : le modèle hydrogéologique comporte 5 couches qui sont de haut en bas :

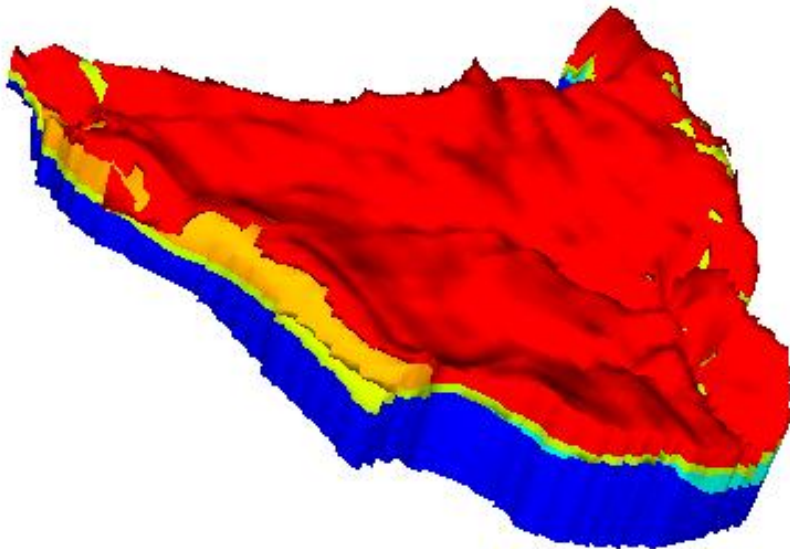
- Couche 1 : Alluvions et Argiles à silex
- Couche 2 : Sables du Perche
- Couche 3 : Craie altérée intégrant les karsts
- Couche 4 : Craie du Sénonien et du Turonien moyen et supérieur
- Couche 5 : Craie du Turonien inférieur et du Cénomanién



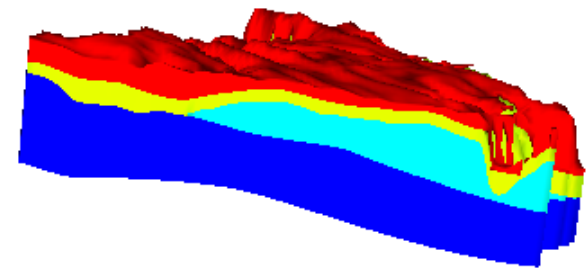
Emprise du modèle de l'Avre



Couche 1 : Alluvions et Argiles à silex
Couche 2 : Sables de Perche
Couche 3 : Craie altérée intégrant les karsts
Couche 4 : craie du Turonien moyen et supérieur et craie du Sénonien
Couche 5 : Craie du Turonien inférieur et du Cénomanién

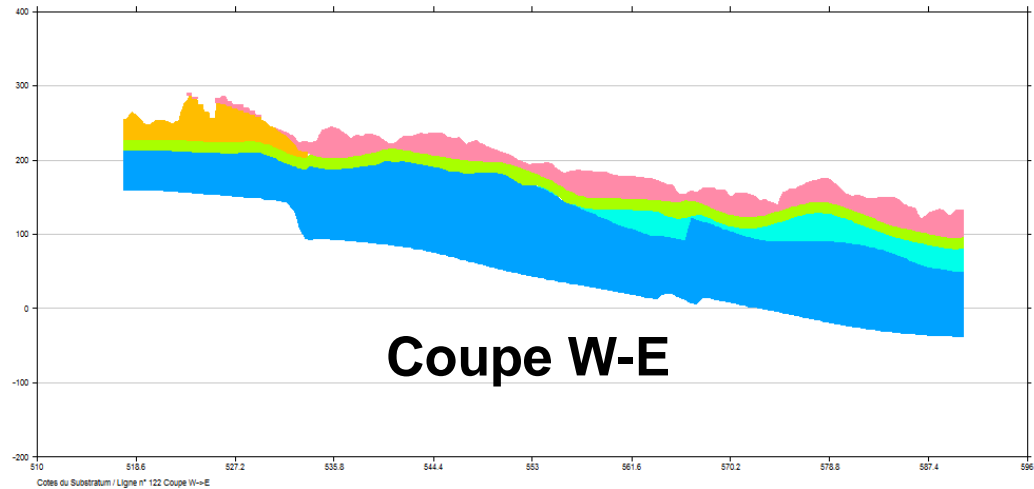
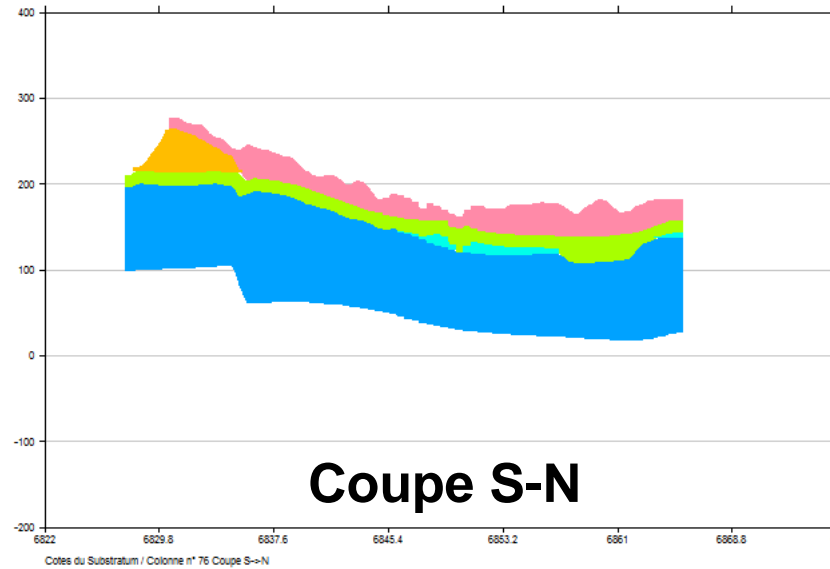
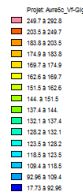
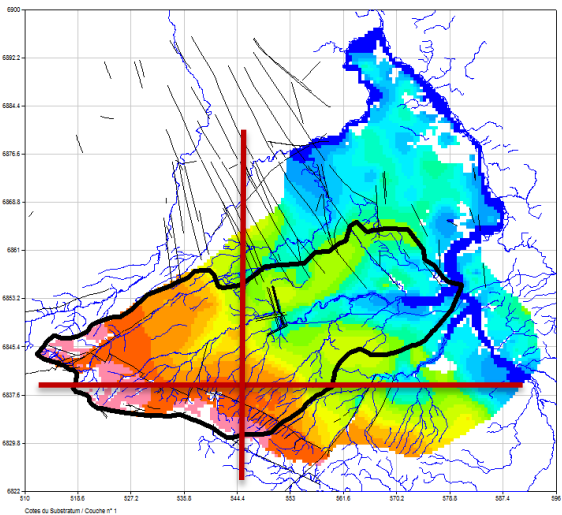


Vue 3D



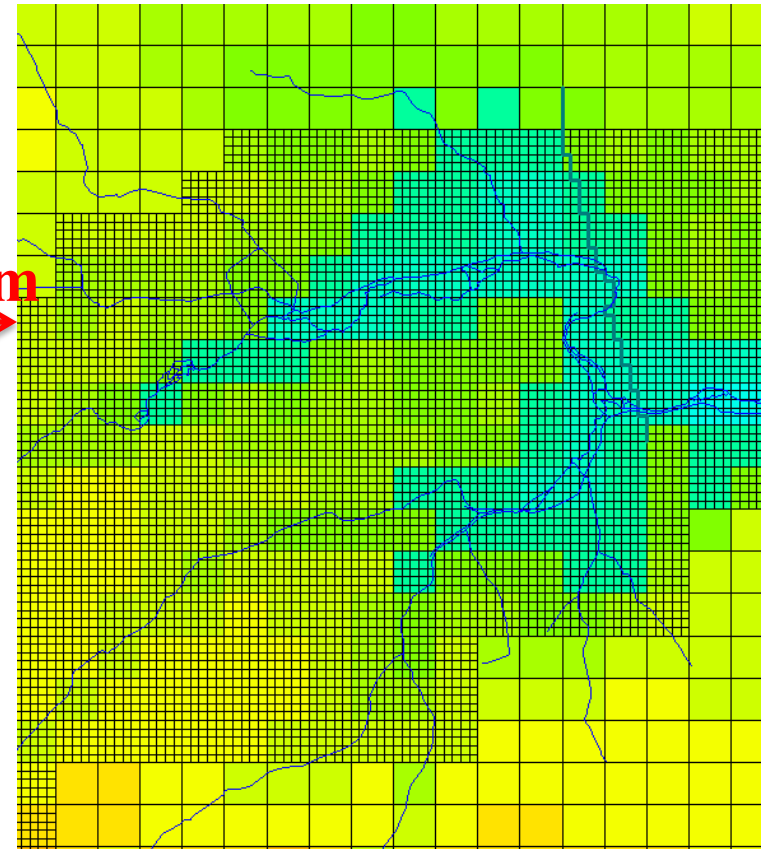
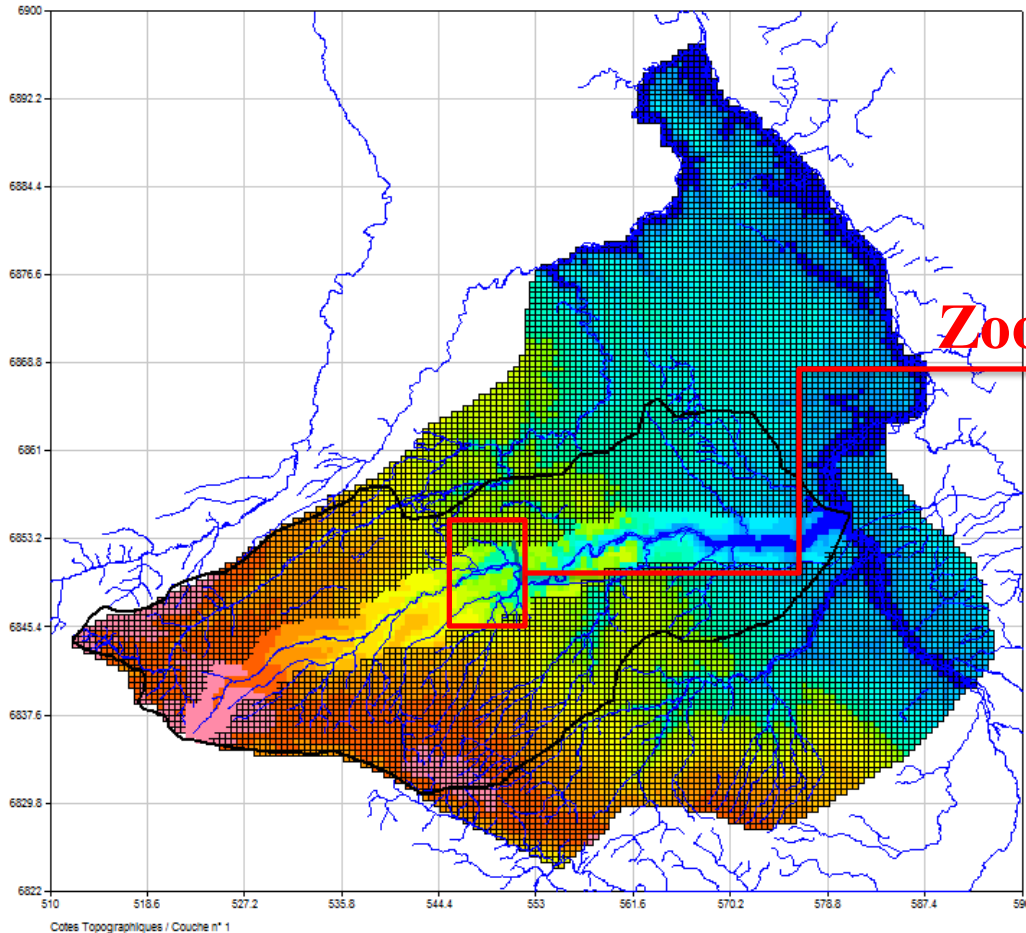
Vue 3D : Blocs NE et SE

Modèle hydrogéologique du bassin de l'Avre : vues en coupe

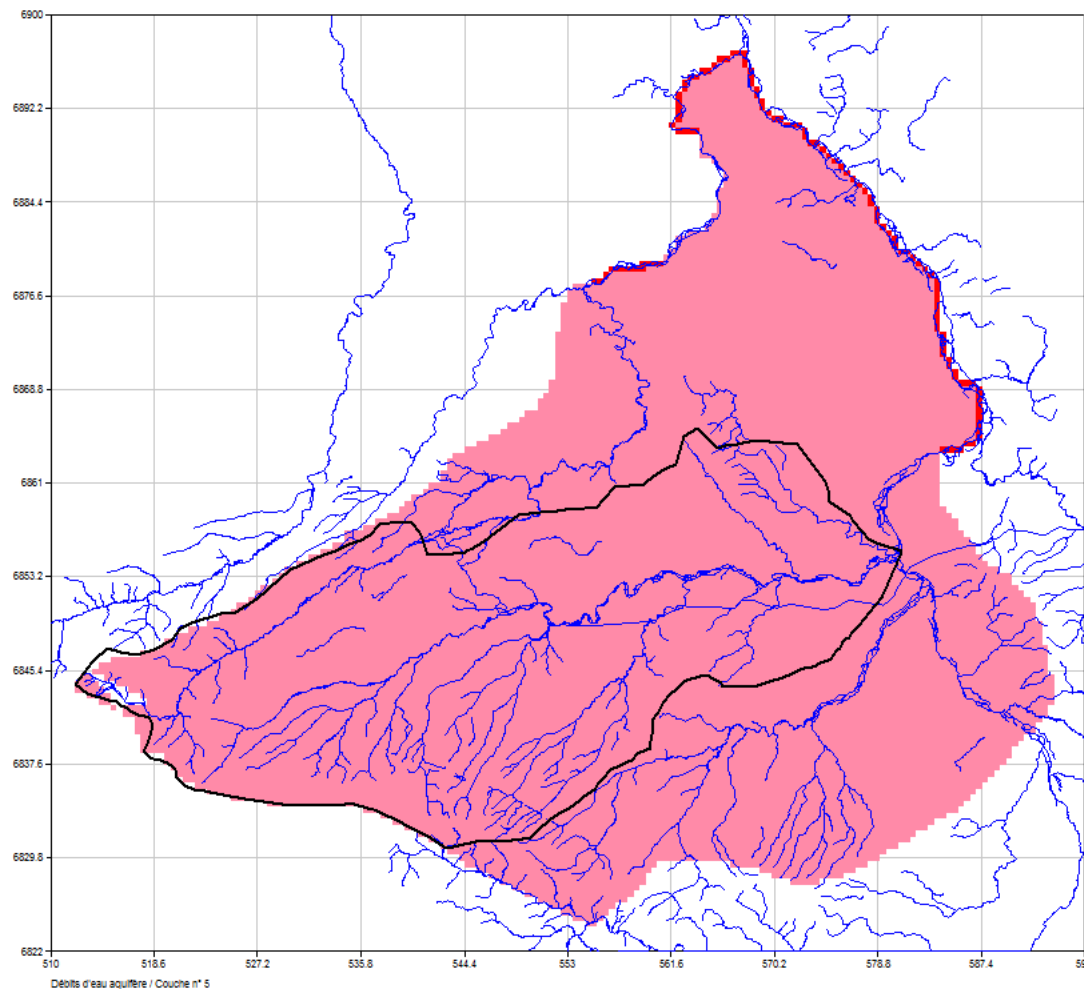


Maillage (grille de calcul)

- > Maillage principal : 500 m de coté
 - > Le long de la vallée humide de l'Avre sur 1.5 km de part et d'autre de la rivière : 100 m de coté
- > Soit 143 000 mailles**

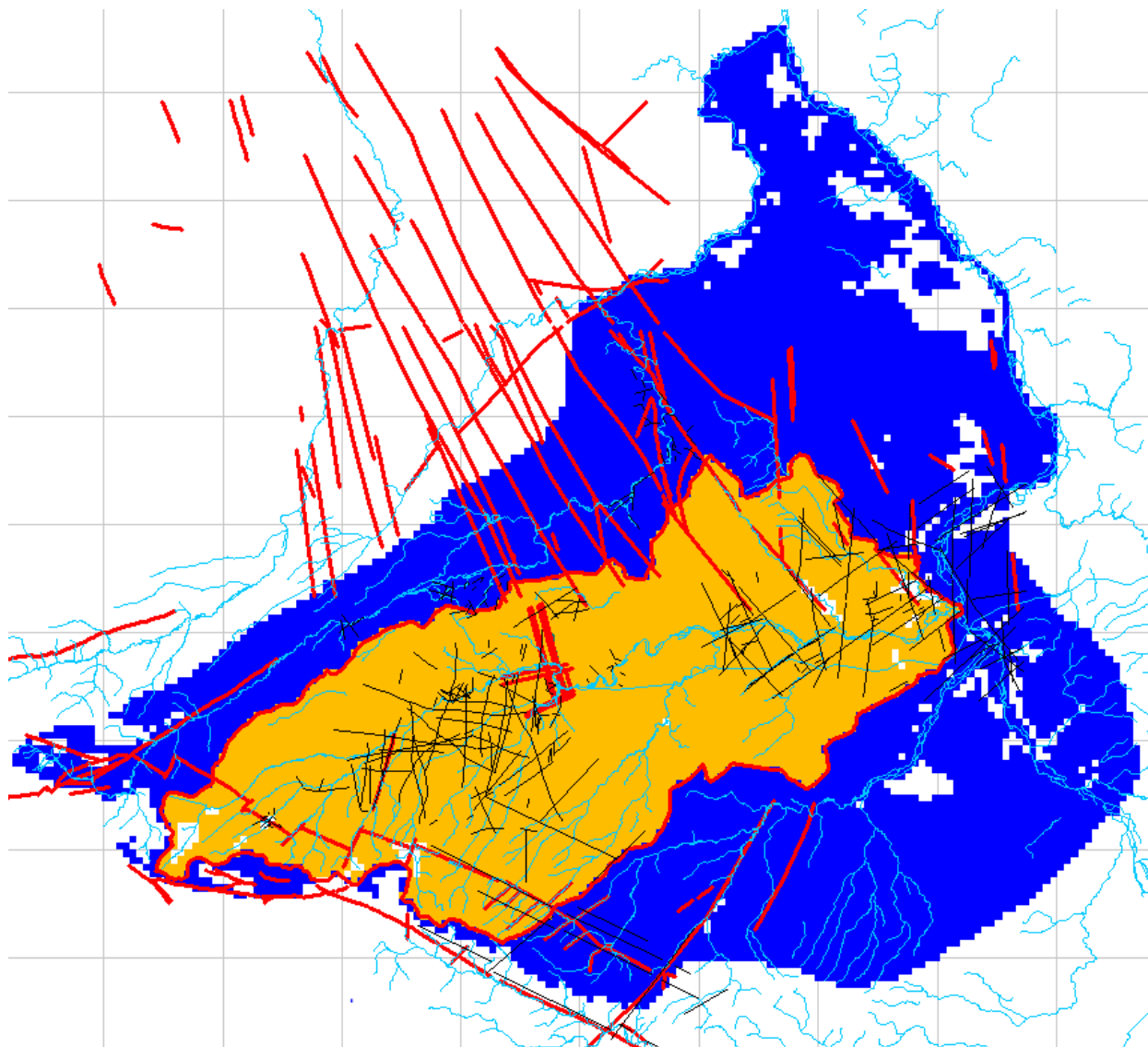


Modèle de l'Avre : Conditions aux limites du modèle



- Charge imposée : rivière draine la nappe (cas de l'Eure et de l'Iton (sauf dans les zones où la rivière est perchée))
- Flux nul ailleurs (lignes de partage des eaux)
- Condition de débordement de la nappe en surface

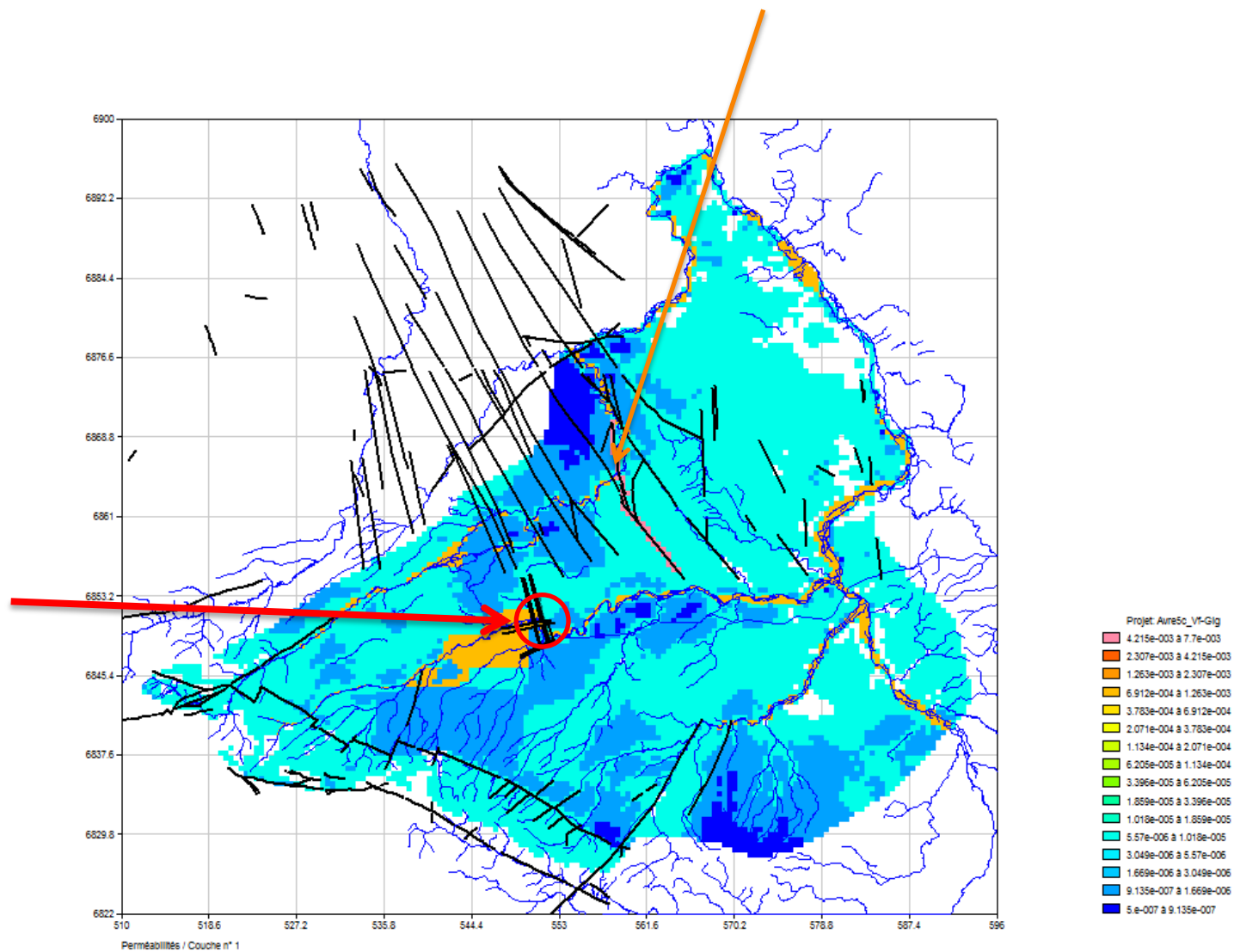
Intégration des failles



Intégration des failles

Failles drainantes

Limites étanches



Calage du modèle

- > Opération qui consiste à calibrer le modèle avec les différents paramètres donnés afin qu'il puisse simuler le fonctionnement de l'hydrosystème qu'il est censé représenter.

- > Deux étapes importantes :
 - Calage en régime permanent
 - Calage en régime transitoire

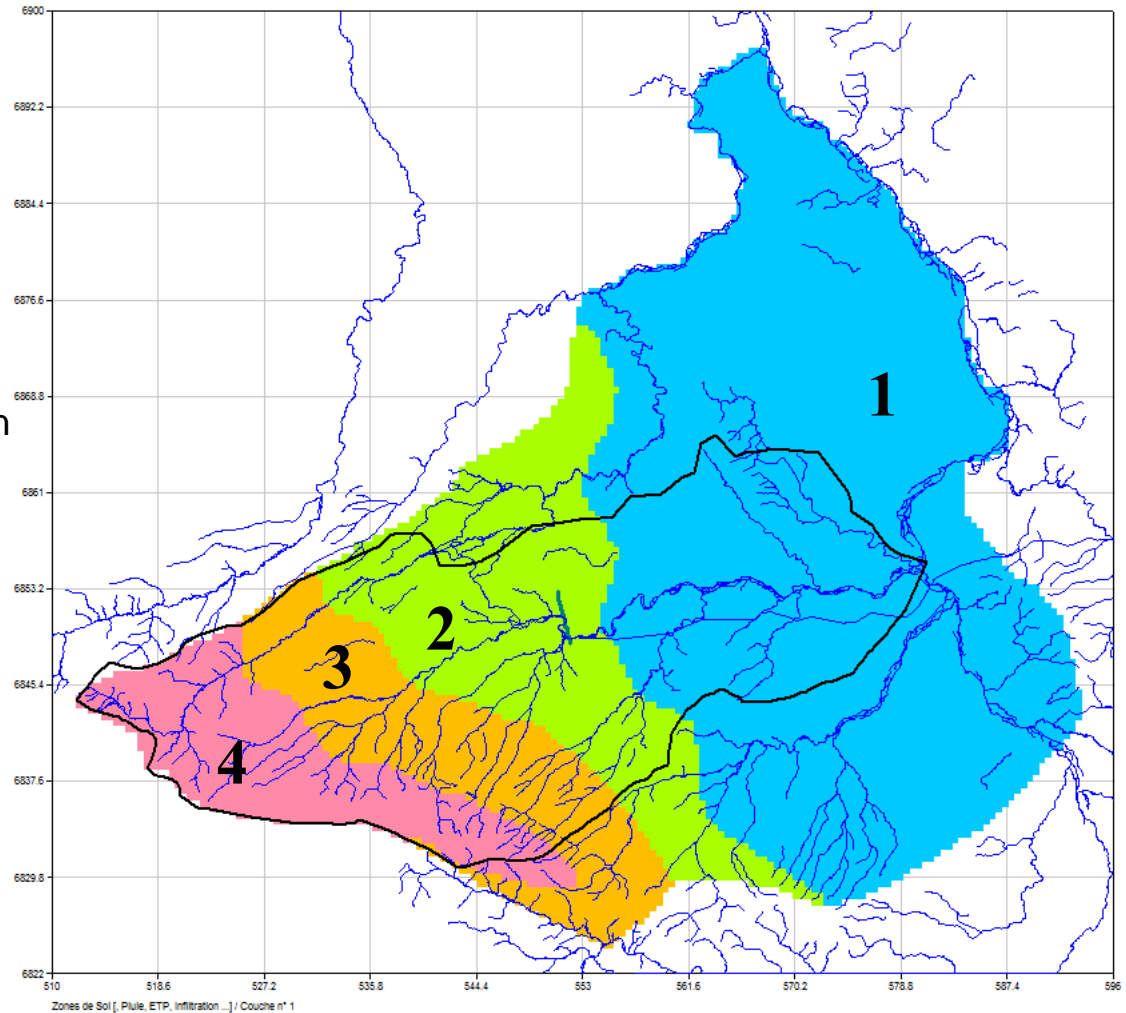
Calage en permanent (2006)

- > Objectif : restituer au mieux les directions principales d'écoulement ainsi que la piézométrie.
- > Étape importante avant le transitoire.
- > Le calage concerne notamment le champ de perméabilités des différentes couches, les conduits karstiques, le rôle des failles.
- > Points de contrôle (mesures piézométriques ponctuelles).
- > Rivière pris dans un premier temps en cote de débordement
- > Bilan hydrologique calculé est comparé au débit moyen à l'exutoire de l'Avre

Modèle de l'Avre : données d'entrée

Précipitations interannuelle

- Zone climatique 1 : 580-650 mm/an
- Zone climatique 2 : 650-720 mm/an
- Zone climatique 3 : 720-800 mm/an
- Zone climatique 4 : 800-866 mm/an



Modèle de l'Avre : données d'entrée

Actualisation des données sur la période 2010-2013 et sur la zone en dehors du bassin versant de l'Avre.

Analyse et traitement des données acquises avant intégration dans le modèle.

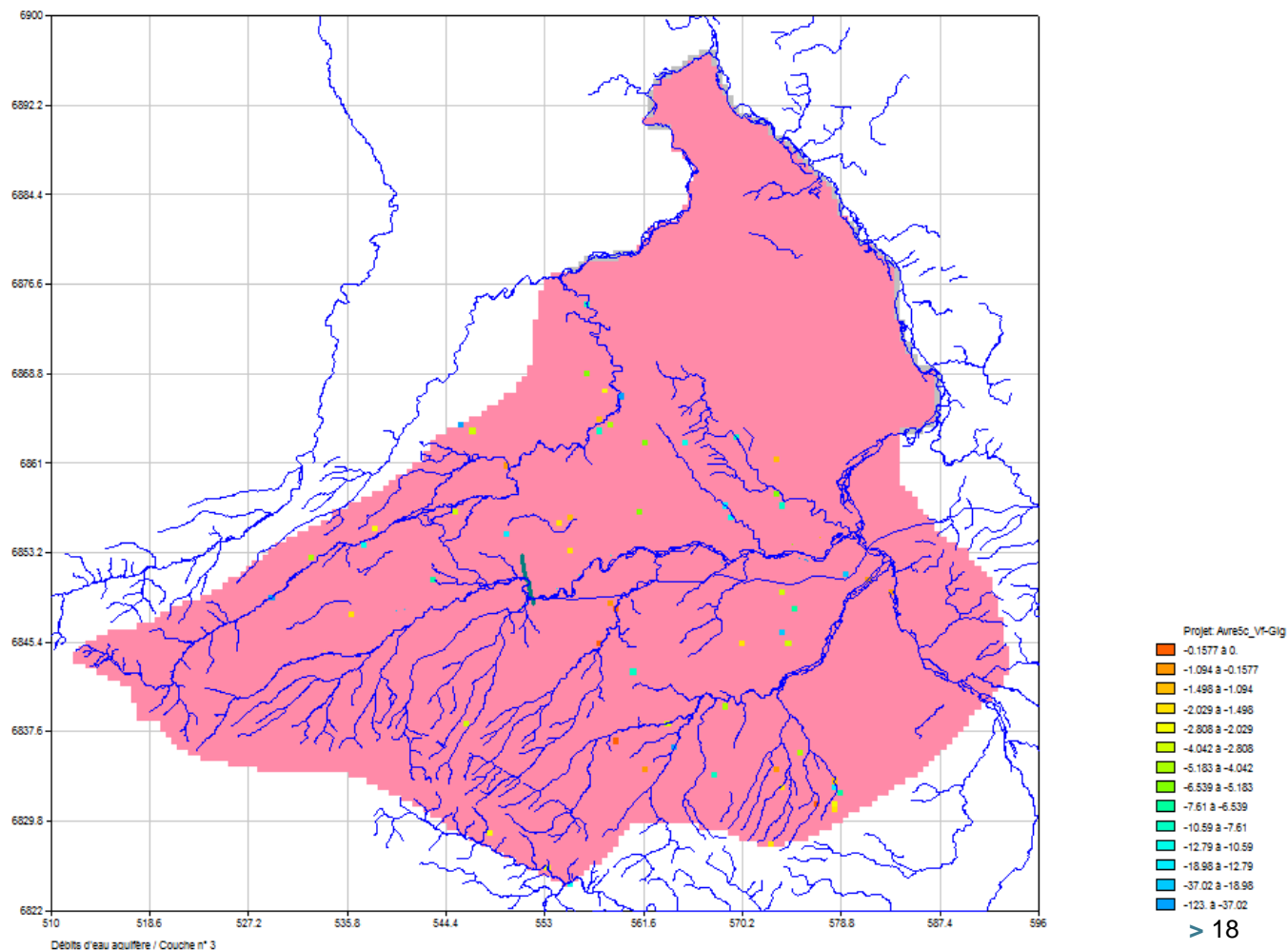
Prélèvements en 2006

Couche 1 : 50,8 m³/h

Couche 2 : 115,7 m³/h

Couche 3 : 1633,1 m³/h

Couche 4 : 1979,7 m³/h

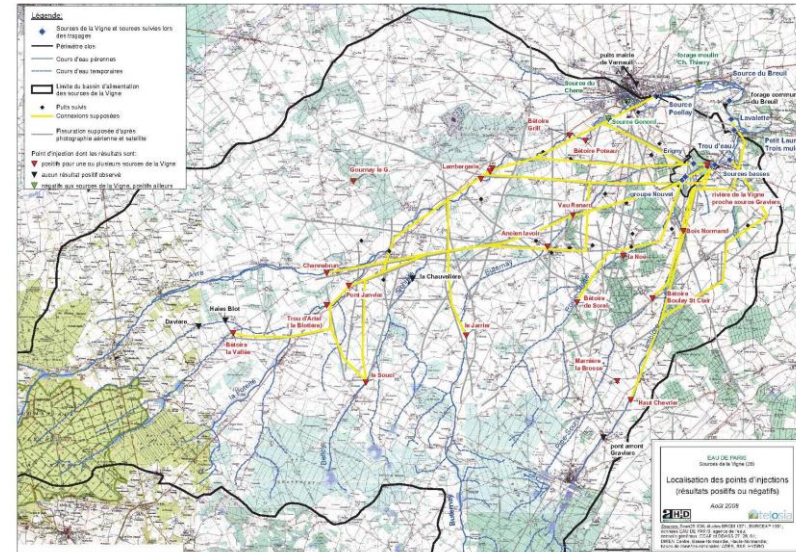
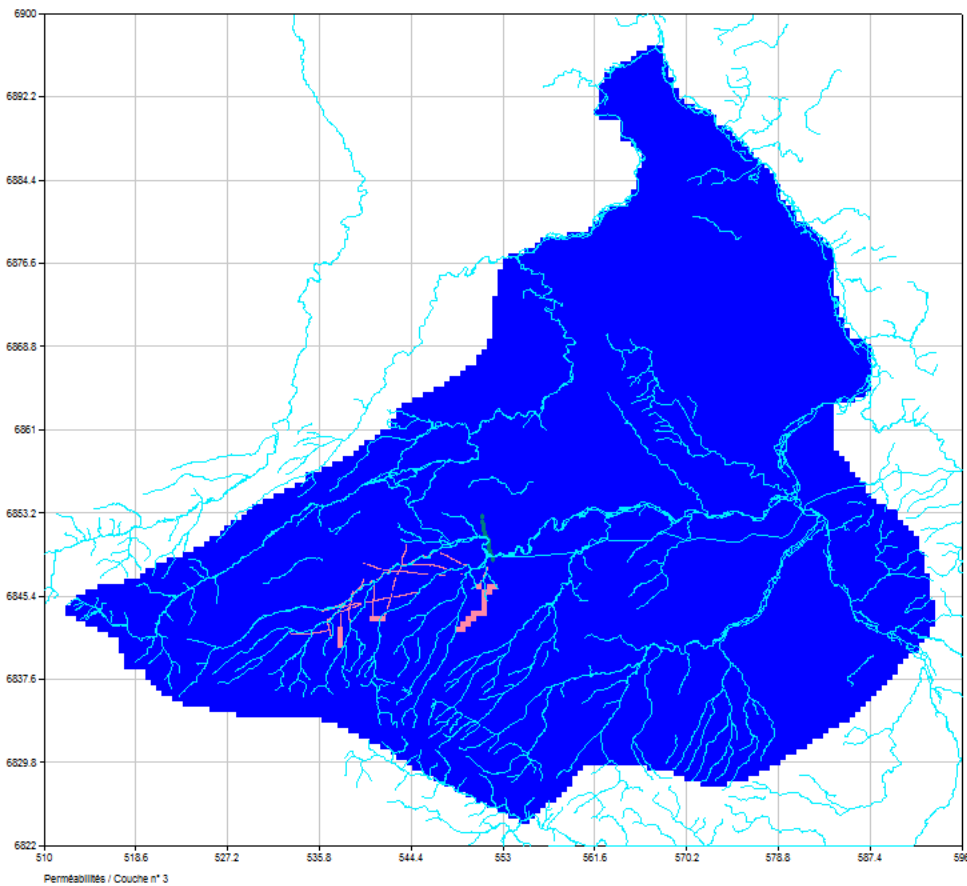


Résultat du calage : exemple de distribution des perméabilités

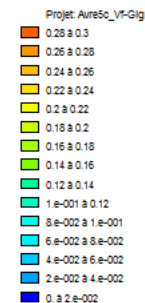
Intégration des conduits karstiques

Dans la craie altérée :

mailles avec $K = 3 \cdot 10^{-1}$ m/s

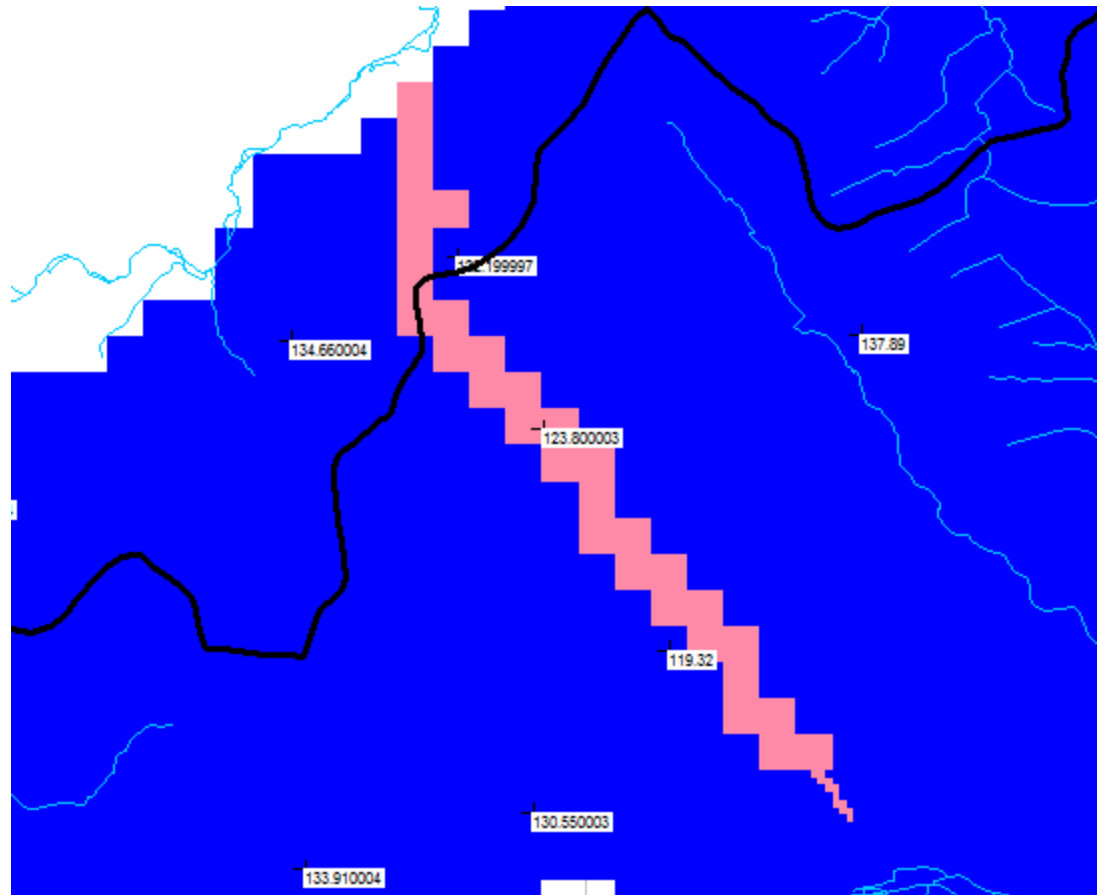


Carte des conduits karstiques supposés (en jaune)
(Ah2D, Telosia, 2009)



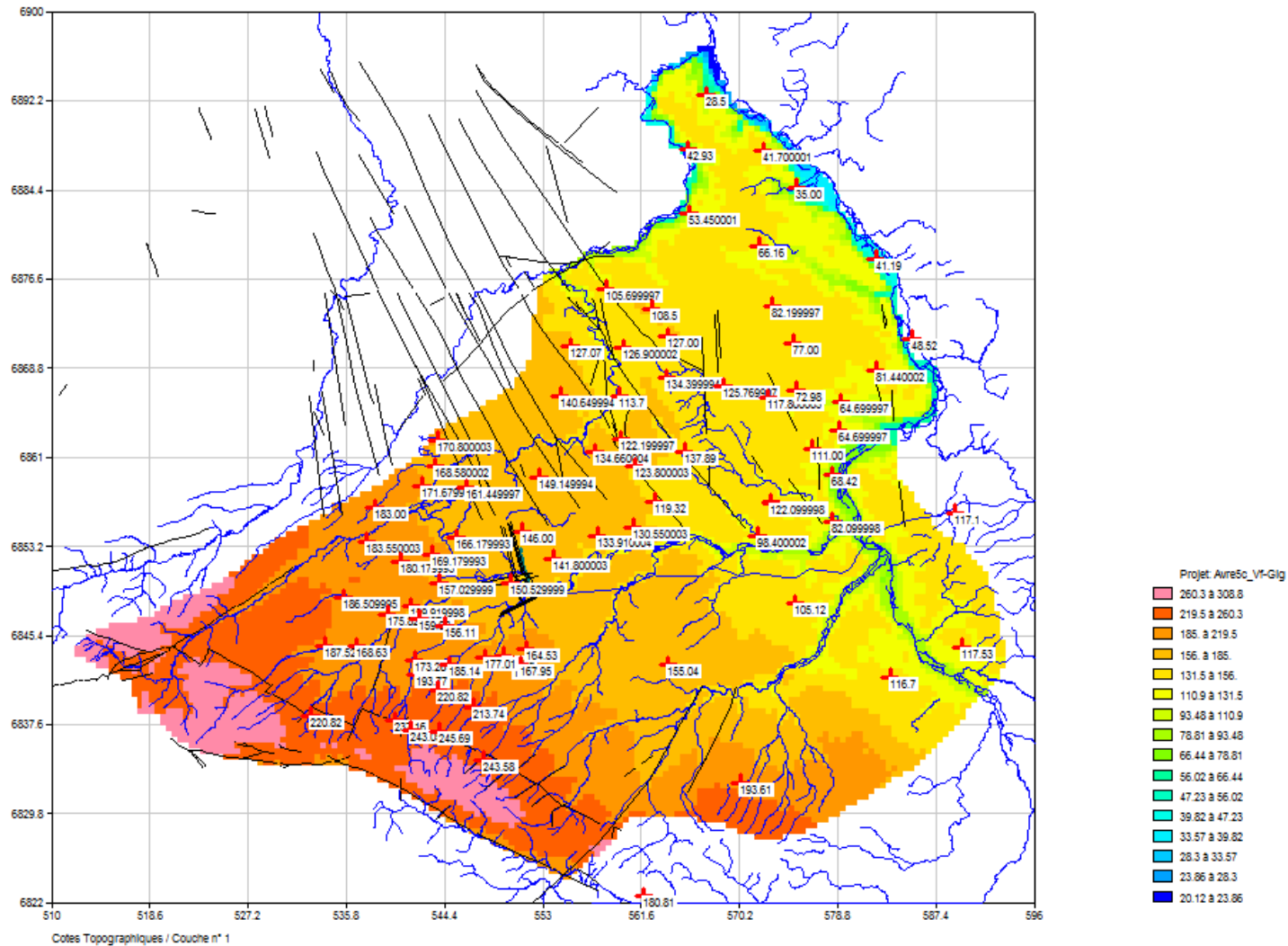
Résultat du calage : exemple de distribution des perméabilités

Dans la craie : linéament supposé par Kuntz pris en compte comme axe drainant

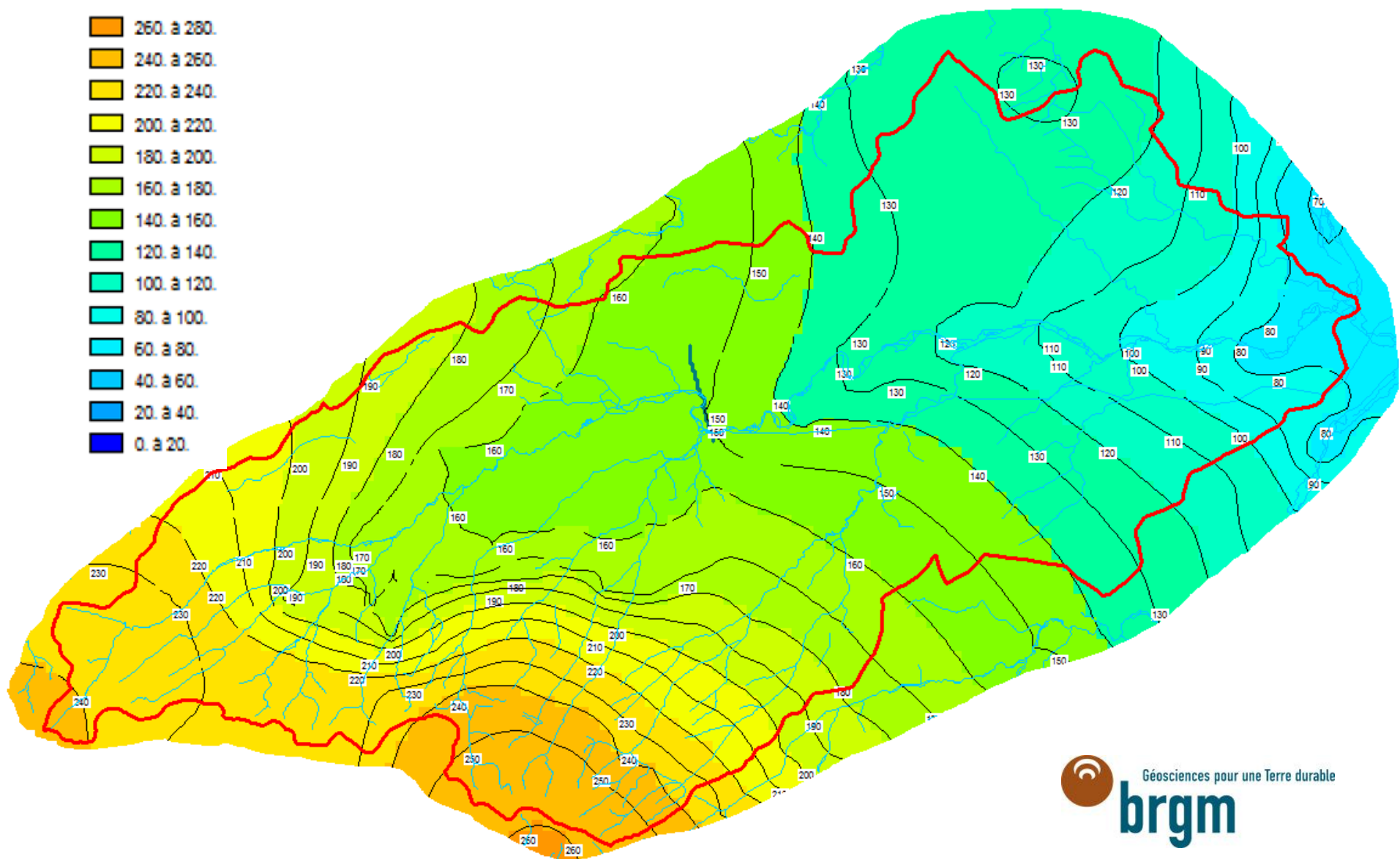
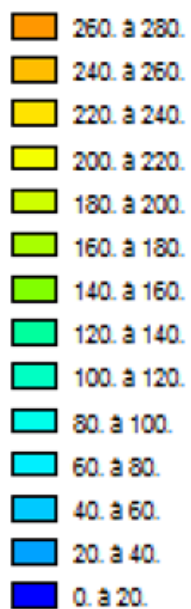


Données de contrôles

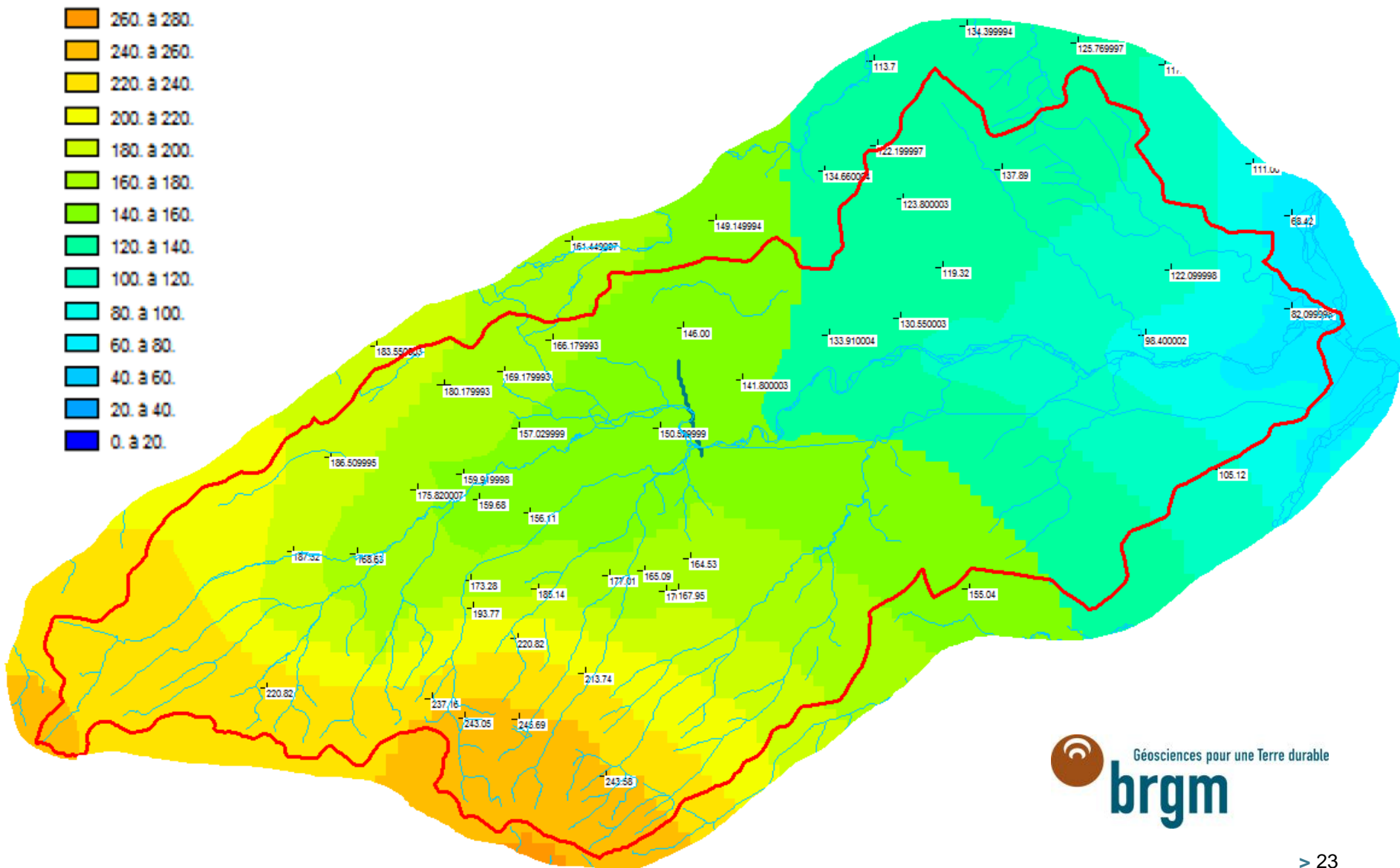
➤ Piézométrie mesurée en 2006 sur 82 points



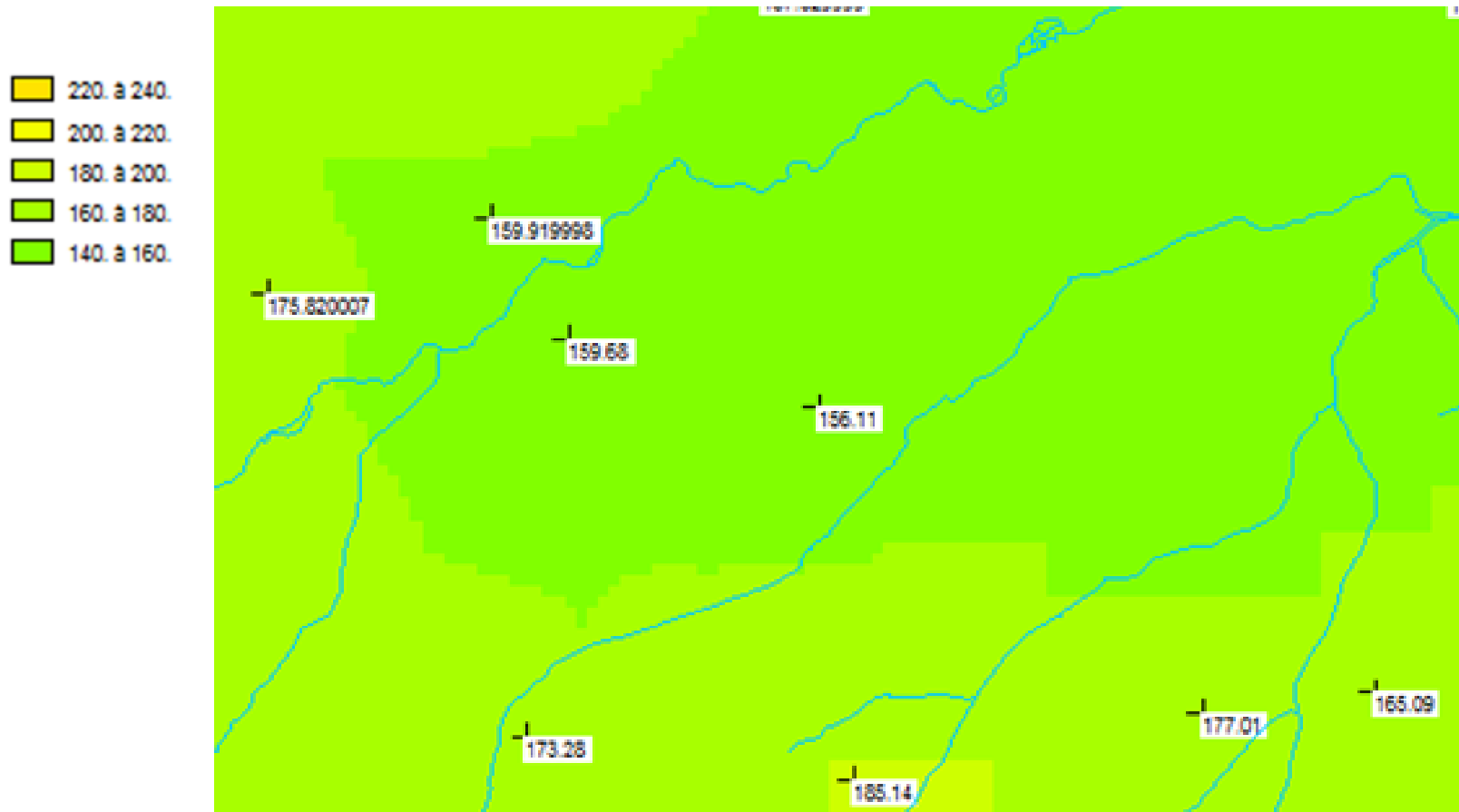
Premiers résultats de calage : piézométrie calculée



Premiers résultats de calage : piézométrie calculée vs piézométrie observée



Premiers résultats de calage : piézométrie calculée vs piézométrie observée



Bilan provisoire dans le bassin versant de l'Avre – régime permanent

Surface du bassin : 973 km²

Débits de recharge de la nappe = 8125 m³/h = 8,35 m³/h/km²

Débits de débordement = 2,2 m³/s

Débit moyen à Muzy en 2006 = 2,8 m³/s (avec apport par le bras forcé de l'Iton estimé à environ 0,2 m³/s).

Suite des travaux

Fin du calage en régime permanent :

- Introduction du réseau hydrographique

- Introduction des historiques des rejets des STEP (reconstitués ou réels)

- Modulation des prélèvements agricoles

Calcul de la recharge à l'aide du modèle Gardenia.

Calage en régime transitoire sur 10 ans minimum entre 1994 et 2013 au pas de temps mensuel.

Evaluation du temps de calcul du modèle de l'Avre en régime transitoire :

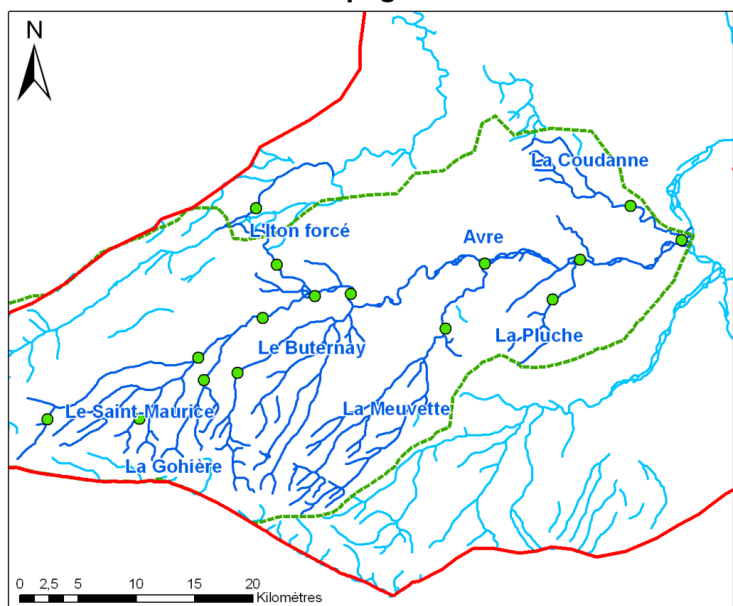
Modèle de l'Avre :

143 000 mailles sur 20 ans au pas de temps mensuel = environ 4h.

Introduction du réseau hydrographique (longueur, largeur de tronçon, colmatage) et des prélèvements des eaux de surface.

Acquisition de données complémentaires :

Carte des points de mesures réalisés lors de la campagne de terrain du bassin de l'Avre



Légende

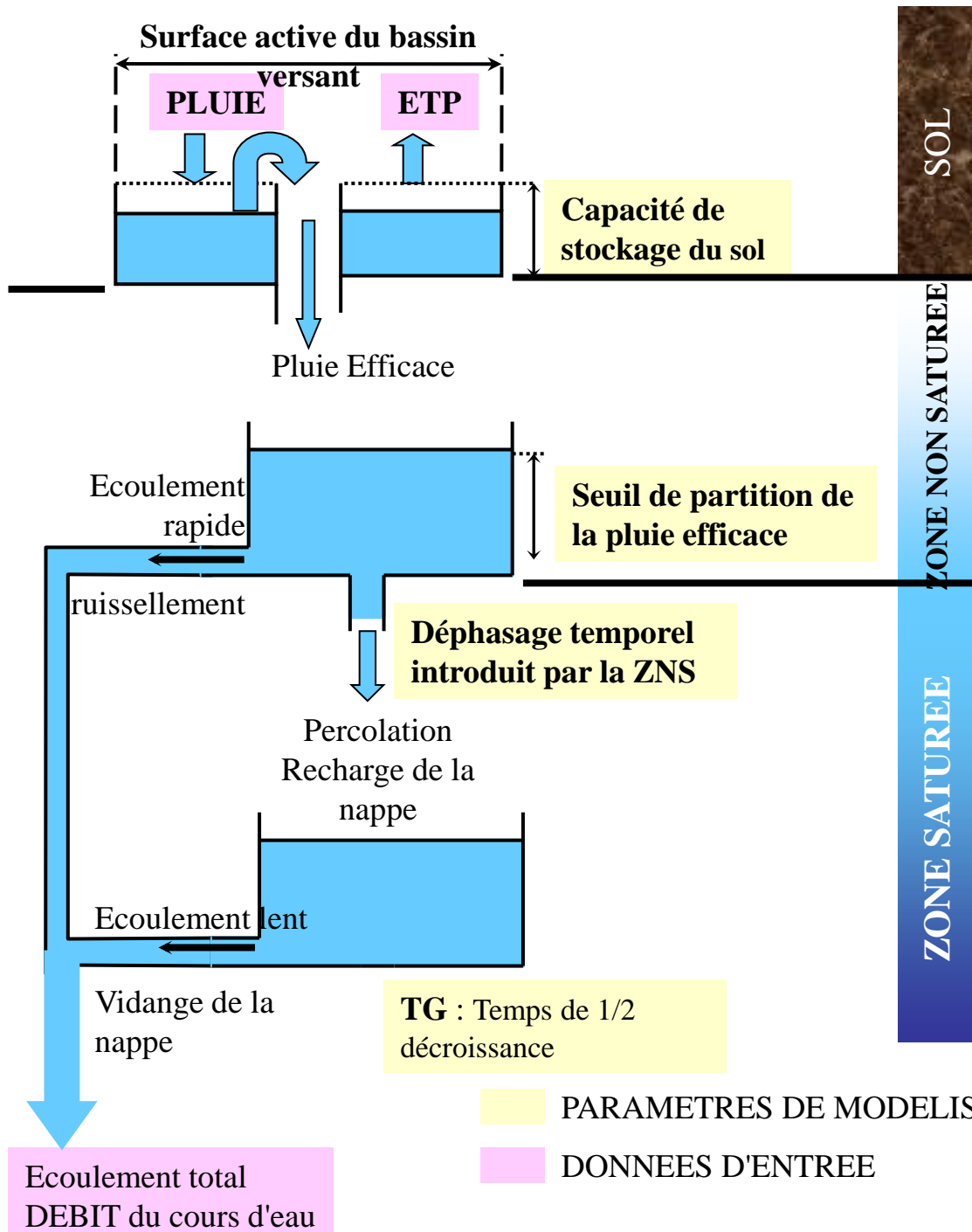
- Points de mesures réalisés
- Etude Avre phase 1
- Emprise du modèle de l'Avre
- Avre et ses affluents
- Autres cours d'eau

Commune	Cours d'eau	Largeur (m)	Altitude de l'eau (m)	Altitude du fond (m)	Profondeur d'eau (m)	X_L93	Y_L93	Altitude du point de mesure	Précision verticale cm	Précision horizontale cm
Courdemanche	Coudanne	2,00	114,71	114,59	0,12	575413,68	6857881,40	116,87	3,46	2,42
Saint-George-Motel	Avre	15,78	73,46	72,74	0,72	579785,68	6854939,80	76,14	3,60	2,24
Saint-Remy-sur-Avre	Avre	8,70	96,05	95,16	0,89	571045,90	6853274,90	98,77	4,41	3,65
Escorpain	Pluche	2,30	127,26			568726,24	6849844,79	131,06	3,76	2,23
Dampierre-sur-Avre	Avre	16,45	114,81	113,55	1,26	562877,54	6852929,70	117,32	4,44	3,20
Saint-Lubain-de-Cravant	Meuvette	16,90	141,95	141,81	0,14	559512,25	6847327,32	144,67	5,15	2,90
Vermeuil-sur-Avre	Avre	9,70	147,68	147,38	0,30	551401,62	6850300,29	149,07	20,15	22,39
Cintray	Iton forcé	7,80	179,65	179,18	0,47	543278,96	6857674,74	181,32	5,28	4,36
Vermeuil-sur-Avre	Iton forcé	5,10	180,19	179,43	0,76	545014,46	6852821,94	181,98	4,63	3,33
Vermeuil-sur-Avre	Avre	8,05	157,70	156,77	0,93	548325,07	6850128,71	160,18	25,08	15,20
Saint-Victor-sur-Avre	Avre	3,50	168,32	167,93	0,39	543815,12	6848270,00	170,19	5,04	4,13
Rohaire	Butemay	1,30	191,40	191,04	0,36	541667,25	6843539,93	193,35	5,27	3,35
Moussonvilliers	Gohière	0,65	191,97	191,93	0,04	538774,36	6842933,85	193,38	7,24	5,77
Saint-Christophe-sur-Avre	Avre	5,90	185,36	185,29	0,07	538292,50	6844838,18	187,04	65,37	54,47
Poterie-au-Perche	Saint-Maurice	1,80	218,09	217,77	0,32	533259,07	6839574,73	218,81	44,90	32,07
Bresollette	Avre	2,70	251,65	251,38	0,27	525340,86	6839525,06	253,30	31,46	25,69

Commune	Cours d'eau	Nature du fond	Description précise du fond	Commentaires générales sur le cours d'eau
Courdemanche	Coudanne	graviers	vase brune à grise présente essentiellement sur les bords. Au centre du cours d'eau, présence de graviers centimétriques et débris de végétaux (bois de bois)	Lit plus creusé en amont du pont, pas de variations importantes de la largeur du cours d'eau
Saint-George-Motel	Avre	sables et graviers	Sables fins sur les bords avec de petits graviers centimétriques, sables grossiers et graviers centimétriques à pluricentimétriques entre le bord et le centre du cours d'eau, cailloux et blocs pluricentimétriques au centre du cours d'eau. Présence importante de végétation (plantes aquatiques) et présence de poissons. Le sable est composé de petits fragments de roches (en majorité du silice) et de coquilles.	Lit plus profond au centre.
Saint-Remy-sur-Avre	Avre	blocs	Présence de blocs sur le fond, les plus petits étant à l'intérieur du virage et les plus gros à l'extérieur. Présence de végétation au fond.	Pont au niveau d'un virage du cours d'eau donc le fond n'est pas droit (au min 3,06 et max 3,59 m) et le cours d'eau a été canalisé
Escorpain	Pluche	vase et sables	Vase plutôt grise présente sur tout le cours d'eau. Présence de débris de végétaux (branchage, débris de feuille). Présence de blocs au niveau du pont et de sable après le seuil sous la vase.	Présence de seuils en amont et en aval du pont, mesure prise en amont car le seuil est moins important. Largeur variable car les berges sont très végétalisées.
Dampierre-sur-Avre	Avre	sables et blocs	Fond compact, blocs centimétriques à pluricentimétriques avec des sables grossiers entre les blocs. Nature de blocs : silice essentiellement.	Fond assez homogène, augmentation du courant après le pont.
Saint-Lubain-de-Cravant	Meuvette	sables et graviers	Fond compact, cailloux centimétriques avec du sable grossier entre eux. Vase sur les berges.	Fond homogène, berges végétalisées (donc largeur avec plus ou moins 1 à 1,50m).
Vermeuil-sur-Avre	Avre	sables et blocs	Gros blocs décimétriques et alluvions sableux. Formations de "current cast".	Eaux troubles on ne voit pas le fond
Cintray	Iton forcé	sables et graviers	Très vaseux sur les bords et par endroits dans le cours d'eau (plaques de vase). Sables grossiers et cailloux de 2-3 cm. Présence de végétaux sur le fond (surtout vers le centre).	Eaux troubles, très difficile de voir le fond. Berges abruptes, l'eau a creusé le talus. Courant très faible.
Vermeuil-sur-Avre	Iton forcé	vase	Fond très vaseux (au minimum 10cm) avec de très nombreux débris de végétaux (branches) et quelques plantes aquatiques.	Eaux très troubles, très peu de courant. Bords végétalisés.
Vermeuil-sur-Avre	Avre	vase	Présence importante de vases mais c'est une hypothèse car non vérifiable	Pas d'accès au fond du cours d'eau et eau très troubles donc très difficile de connaître la nature du fond. Courant faible.

Données supplémentaires à introduire en régime transitoire

- ✓ Le calage en régime transitoire nécessite de connaître les **flux d'infiltration**, ainsi que le **déphasage** induit par les sols et la Zone Non Saturée lors de la percolation de l'eau dans cette partie de l'aquifère.
- ✓ L'estimation de cette infiltration est faite par zones géographiques, de manière indirecte, par la **décomposition des hydrogrammes**.
- ✓ On utilise le logiciel à réservoirs en cascade GARDENIA.

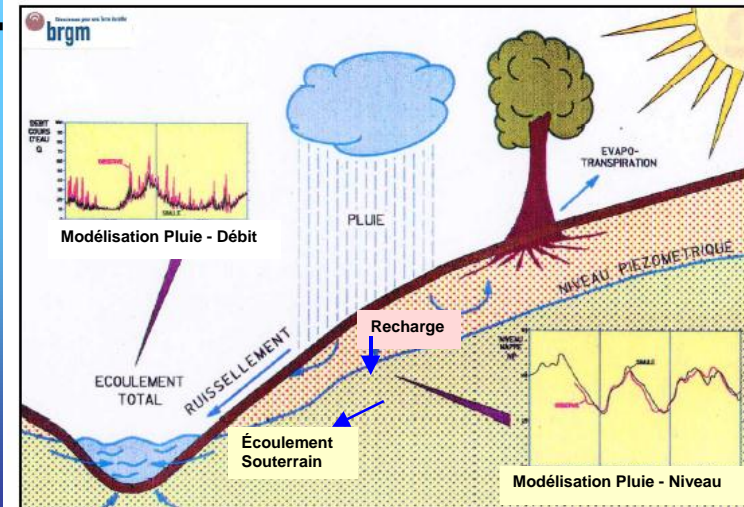


Modèles globaux

→ pluie - niveaux

→ pluie - débit

→ pluie - débit - qualité



Difficultés rencontrées

- ✓ Géologie complexe :
 - ✓ nécessité de réaliser un modèle géologique fin.
 - ✓ Extension de la zone modélisée pour le modèle hydrogéologique.
 - ✓ Acquisition de données complémentaires.

- ✓ Karstification et rôle des failles complexes.

- ✓ Modèle hydrogéologique étendu et plus fin que prévu : durées de simulation en transitoire estimées à 4 heures.

- ✓ Erreurs et incohérences dans certains fichiers de prélèvements d'eau.
 - ✓ Nécessité de relocaliser un certain nombre de points.
 - ✓ Nombreux échanges nécessaires pour arrêter des valeurs fiables.

Chronogramme prévisionnel des principales phases de la modélisation

Construction d'un modèle géologique	réalisé en mars 2014 affiné en juillet 2014
Construction d'un modèle hydrogéologique	Juillet/août/septembre 2014
Calage du modèle hydrogéologique	Août à décembre 2014
Mise en œuvre de scénarios d'exploitation	A partir de décembre 2014/janvier 2015



Phase 5 : exploitation du
modèle – définitions de
scénarios

Phase 5 : exploitation du modèle

> Phase 5 : exploitation du modèle

- **Après les phases de calage et de validation, le modèle intégré nappes-rivières sera utilisé pour fournir une aide à la prise de décision éclairée en matière de gestion de la ressource en eau et notamment l'évaluation de la ressource en eau souterraine exploitable dans le respect des débits d'étiage acceptables.**
- **Cette estimation de la ressource en eau souterraine exploitable se fera sur la base de scénarios d'usage qui devront être mis en place en concertation avec les acteurs de la zone d'étude en comparant l'état actuel à un état prévisionnel attendu à moyen terme (une cinquantaine d'années). Il est prévu de réaliser un maximum de 5 scénarios.**

Phase 5 : exploitation du modèle

> Définition d'un scénario prévisionnel :

- **Scénarios prévisionnels : simulations destinées à**
 - ✓ **déterminer le potentiel spatio-temporel de la ressource (vis-à-vis du respect d'un débit d'objectif)**
 - ✓ **anticiper le comportement du système aquifère sous l'effet : d'une exploitation prolongée des aménagements existants, d'un changement de régime d'une installation particulière, de l'impact d'un nouvel aménagements, de l'évolution des prélèvements agricoles ou du contexte hydroclimatique, etc....**

- **Parfois, il convient d'élaborer des chroniques hydroclimatiques réalistes sur la base d'une analyse statistique des observations existantes et d'hypothèses probabilistes en adéquation avec les scénarios à traiter**

Phase 5 : exploitation du modèle

> **Elaboration des chroniques hydroclimatiques :**

Plusieurs approches peuvent être utilisées pour constituer une ou plusieurs chroniques hydroclimatiques destinées aux scénarios prévisionnels ; par exemple :

- Réutilisation d'une série déjà observée sur la zone d'étude, parfois en inversant sa chronologie,
- Analyse statistique d'une longue série d'observations, sélection d'années moyennes, sèches, humides de fréquence de retour donnée, puis assemblage d'une chronique d'année moyennes ou de séquences d'années sèches/humides d'occurrence biennale, quinquennale, décennale, etc...
- Scénarios climatiques du GIEC,
- Générations de chroniques artificielles de pluie brute et d'évapotranspiration potentielle respectant les propriétés des chroniques observées sur la zone d'étude
- Etc...

Phase 5 : exploitation du modèle

- > **Définitions des volumes prélevables (exemple de la ZRE Bajo/Batho) :**
 - Estimation des volumes de prélèvement totaux compatibles avec le maintien de 70% du QMNA5 dans la rivière.
 - Remarque : le QMNA5 a été utilisé comme débit de référence car les débits minimum biologiques calculés par l'ONEMA en cours d'eau n'étaient pas disponibles dans tous les bassins versants de la zone modélisée.

Phase 5 : exploitation du modèle

> Définitions des volumes prélevables (exemple de la ZRE Bajo/Batho) :

La méthodologie de calcul de ces volumes prélevables se décompose en plusieurs étapes :

- simulation d'un scénario de référence sans pompage sur la période 1971-2010 et calcul des QMNA5 sur les chroniques de débits simulées. Ce scénario permet de calculer pour chaque zone, un QMNA5 naturel simulé.
- Simulation d'un scénario correspondant à la situation de prélèvements la plus récente intégrée dans le modèle : pour ce scénario, les prélèvements pris en compte sont ceux de l'année 2010, répétés pour l'ensemble des 40 années de la simulation 1971-2010. Ce scénario permet de calculer pour chacune des zones un QMNA5 prenant en compte l'impact des prélèvements de 2010.
- Pour chaque zone, le ratio $QMNA5_{prelev2010}/QMNA5_{sans\ pompages}$ est calculé.
- Pour chaque zone dont le ratio est inférieur à 70 %, de multiples scénarios sont ensuite simulés en ajustant par essais successifs un coefficient de réduction aux pompages de 2010. Pour chaque scénario, les QMNA5 des zones concernées par les réductions de prélèvements sont calculés, et par essai-erreur, on détermine le volume de prélèvements permettant d'atteindre le seuil de 70%.

Phase 5 : exploitation du modèle

> Proposition de scénarios pour l'Avre (à titre d'exemple):

- Simulation 1 : scénario de référence sans pompage sur la période 1990-2013. Ce scénario permet de calculer pour chaque zone, le nombre de dépassements naturels du débit biologique
 - Chronique hydroclimatique : Pluie et ETP enregistrée de 1993 à 2013
 - Pompages : aucun
- Simulation 2 : scénario correspondant à la situation de prélèvements la plus récente intégrée dans le modèle (2013) répétés pour l'ensemble des 20 années de la simulation 1993-2013. Ce scénario permet de calculer pour chacune des zones le nombre de dépassements du débit biologique (avec l'état actuel des pressions)
 - Chronique hydroclimatique : Pluie et ETP enregistrée de 1993 à 2013
 - Pompages : pompage de l'année 2013
- Simulations 3, 3bis, 3ter,.... : scénarios multiples simulés en ajustant par essais successifs un coefficient de réduction aux pompages de 2013 afin de déterminer les prélèvements ayant un impact soutenable sur les débits biologiques (règles et cadre à définir par le groupe de travail)
 - Chronique hydroclimatique : Pluie et ETP enregistrée de 1993 à 2013
 - Pompages : pompage de l'année 2013 avec coefficient de réduction variant à chaque simulation

Phase 5 : exploitation du modèle

> Proposition de scénarios pour l'Avre (à titre d'exemple):

- Simulation 4 : scénario d'évolution à 30 ans
 - Chronique hydroclimatique : à définir (GIEC , Générations de chroniques artificielles,...)
 - Pompages : à définir

- Simulation 5 : selon les réflexions du groupe de travail
 - Chronique hydroclimatique :
 - Pompages : à définir



Merci de votre attention