



Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

Alexandre Brugeron

► To cite this version:

Alexandre Brugeron. Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine. L'Information Géographique pour les métiers de l'Eau, 2012, Paris, France. hal-01182473

HAL Id: hal-01182473

<https://brgm.hal.science/hal-01182473>

Submitted on 31 Jul 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

The geological map shows the area around Monte Reghina di Pozzo. Key features include the town of Felce, the river Felce, and the road CA 195. The map is color-coded to represent different geological units: red for the main area, blue for a specific unit, and green for another. Topographic features like Monte Reghina (1313m) and Monte Martignone (981m) are labeled. The map also shows various geological structures like faults and folds.

Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

Alexandre Brugeron – BRGM
(D3E – Unité « Évaluation et Valorisation des connaissances sur l'Eau »)



Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

> **Outil de prévention contre les risques de pollution diffuse**

- Délimitation des Aire d'Alimentation de Captage (AAC)
- Cartographie de leur vulnérabilité
- Cartographie du risque de pollution

> **Outil d'aide à la caractérisation : typologie des nappes, évaluation des tendances d'évolution de concentrations**

- Etude de la typologie des nappes par les variogrammes
- Tests statistiques de tendance et exemples de représentation

> **Outil de représentation des entités hydrogéologiques BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères)**

- Objectifs, principes de construction
- Outils SIG de valorisation

Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

> **Outil de prévention contre les risques de pollution diffuse**

- Délimitation des Aire d'Alimentation de Captage (AAC)
- Cartographie de leur vulnérabilité
- Cartographie du risque de pollution

> **Outil d'aide à la caractérisation : typologie des nappes, évaluation des tendances d'évolution de concentrations**

- Etude de la typologie des nappes par les variogrammes
- Tests statistiques de tendance et exemples de représentation

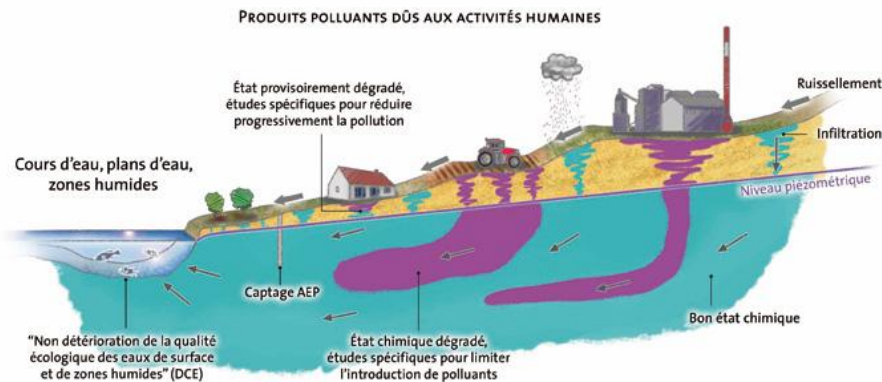
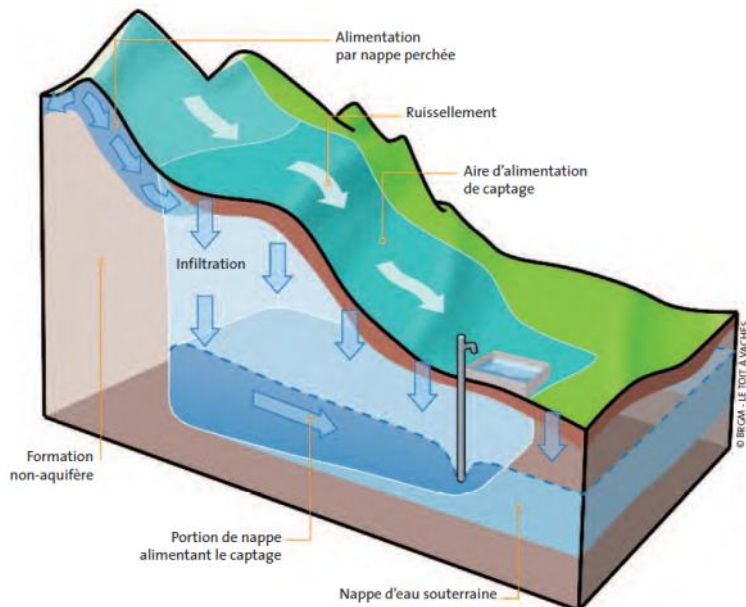
> **Outil de représentation des entités hydrogéologiques BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères)**

- Objectifs, principes de construction
- Outils SIG de valorisation

Contexte et problématique



> LEMA du 31/12/2006

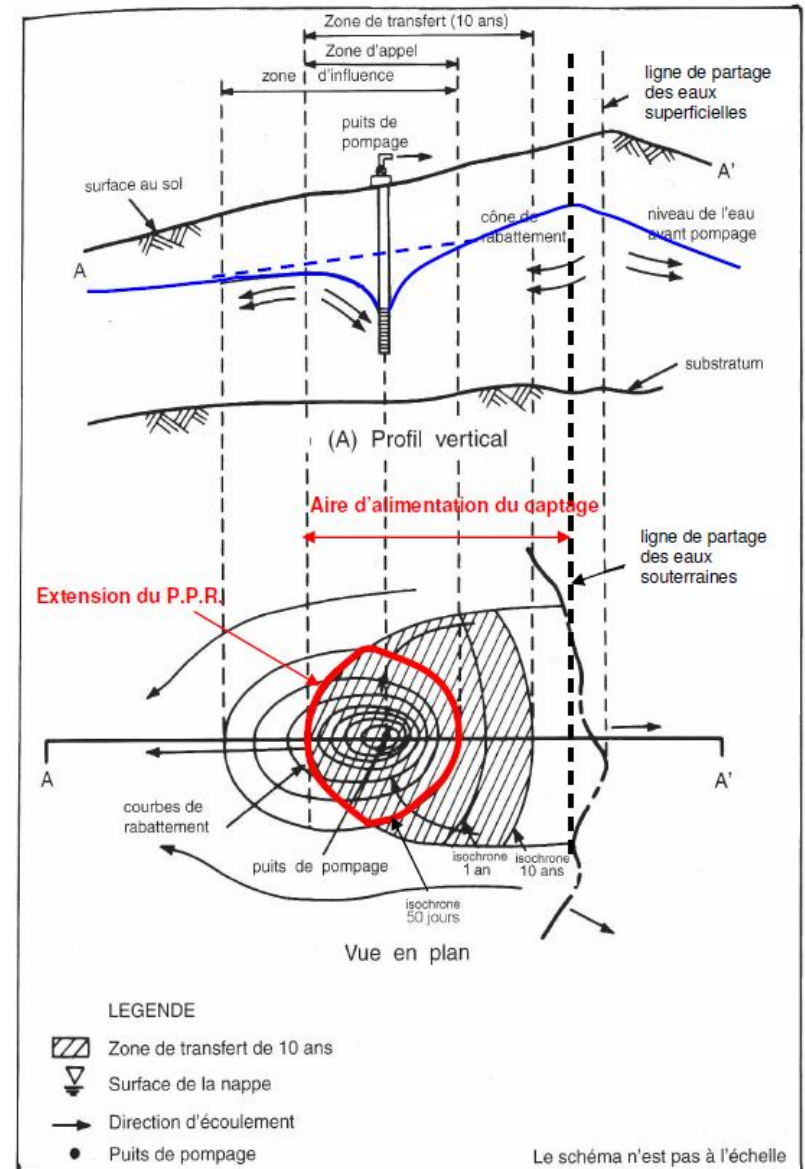
- **Aire d'Alimentation de Captage (AAC)** = zone en surface sur laquelle l'eau qui s'infiltrate ou ruisselle alimente le captage
- **Objectif** : identifier une zone dans laquelle sera instauré un programme d'actions visant à protéger la ressource contre les pollutions diffuses (à l'initiative du préfet).
- **Guide méthodologique (BRGM, DEB, AESN)**
- **Apport du SIG** :
 - Délimitation de l'AAC propre au captage;
 - Cartographie de sa vulnérabilité et le risque vis-à-vis des pollutions diffuses



Délimitation des AAC

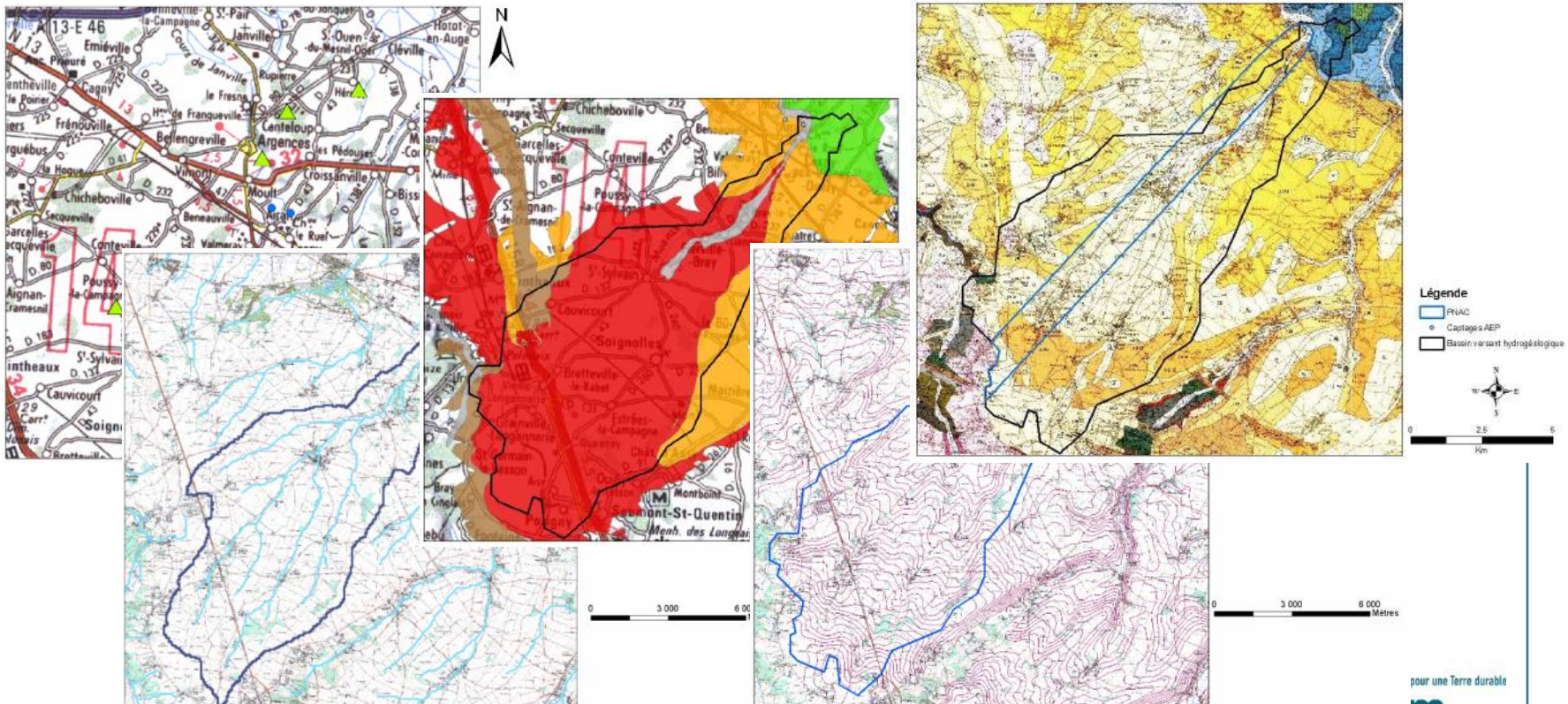
- > Ne pas confondre avec les Périmètres de Protection des Captages (PPC) – outil essentiellement pour lutter contre les pollution ponctuelles
- > La délimitation nécessite de nombreuses données SIG:
 - Localisation et caractéristiques précises du captage et des forages environnants
 - Bassins versants de surface
 - Bassins versants souterrains et/ou carte piézométrique
 - Données géologiques et hydrogéologiques
 - ...

Phase 1 Etude hydrogéologique du bassin versant souterrain 	- Caractéristiques du captage - Synthèse et/ou acquisition de données - Compréhension du système aquifère - Typologie du système - Choix de la méthode
Phase 2 Délimitation du BAC 	- Délimiter la portion de nappe alimentant le captage - Identifier la zone en surface susceptible d'influer sur la qualité de l'eau du captage
Phase 3 Cartographie de la vulnérabilité	- Identifier à l'intérieur du BAC les secteurs les plus contributifs à l'alimentation du captage et donc les plus vulnérables vis-à-vis d'une pollution



Délimitation des AAC

- Approche par croisements de données SIG – exemple milieu continu
 - Contexte climatique (calcul de pluie efficace à l'aide des stations météo, grille spatialisée Météo France...etc...) → estimation de la superficie de l'AAC
 - Délimitation du Bassin Versant hydrologique (à partir du MNT, issu de la BD Carthage);
 - Contexte géologique – nature des terrains à l'affleurement;
 - Délimitation du Bassin versant souterrain (à partir de cartes piézométrique, grille d'épaisseur de ZNS)

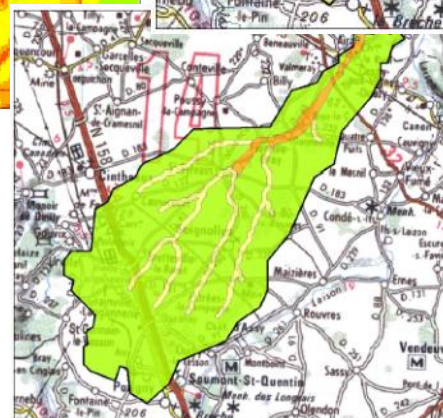
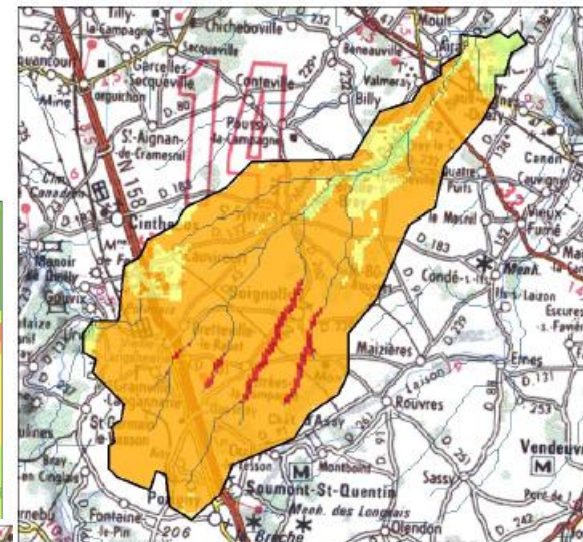
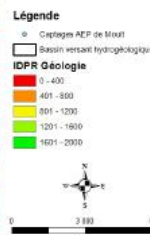
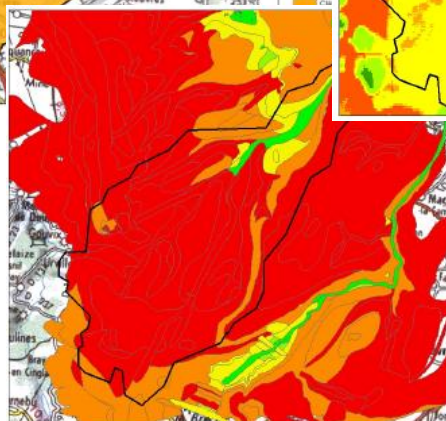
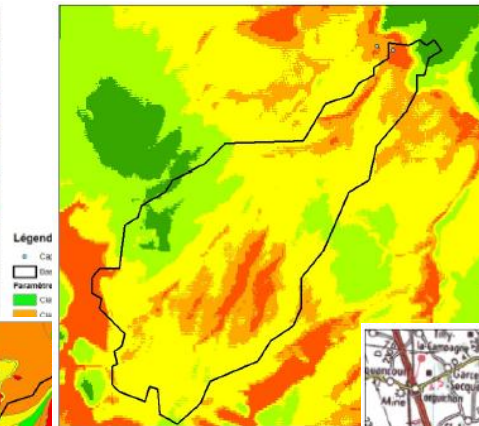
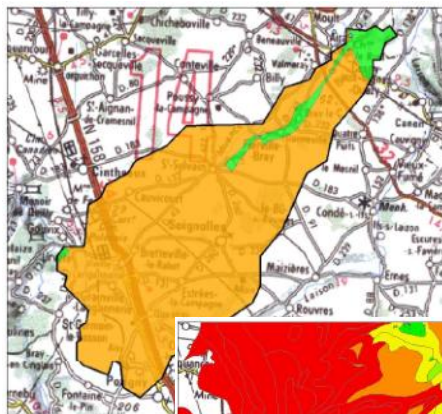


Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis des pollutions diffuses

➤ Selon le type de milieu, l'estimation de la vulnérabilité prend en compte différents paramètres, parmi lesquels:

- Pluie efficace;
- Epaisseur, texture du sol;
- Capacité à infiltrer/ruisseler (indice IDPR)
- Epaisseur de la ZNS;
- Perméabilité de l'aquifère et/ou nature du sous-sol
- Karst

**Normalisation des valeurs de chaque paramètre
+ pondération en fonction du degré d'incidence
→ Calcul via traitement SIG des données**



Cartographie du risque de pollution d'un AAC



> Les enjeux = captages AEP

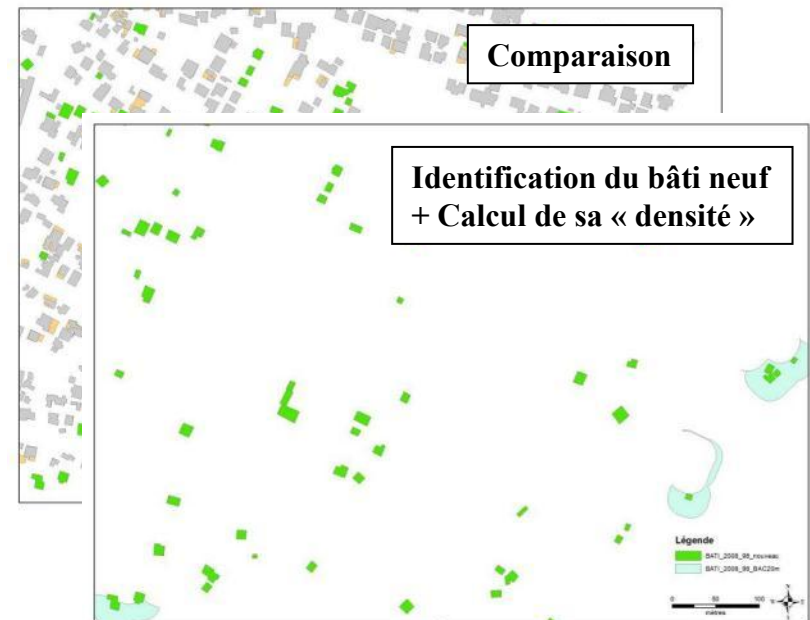
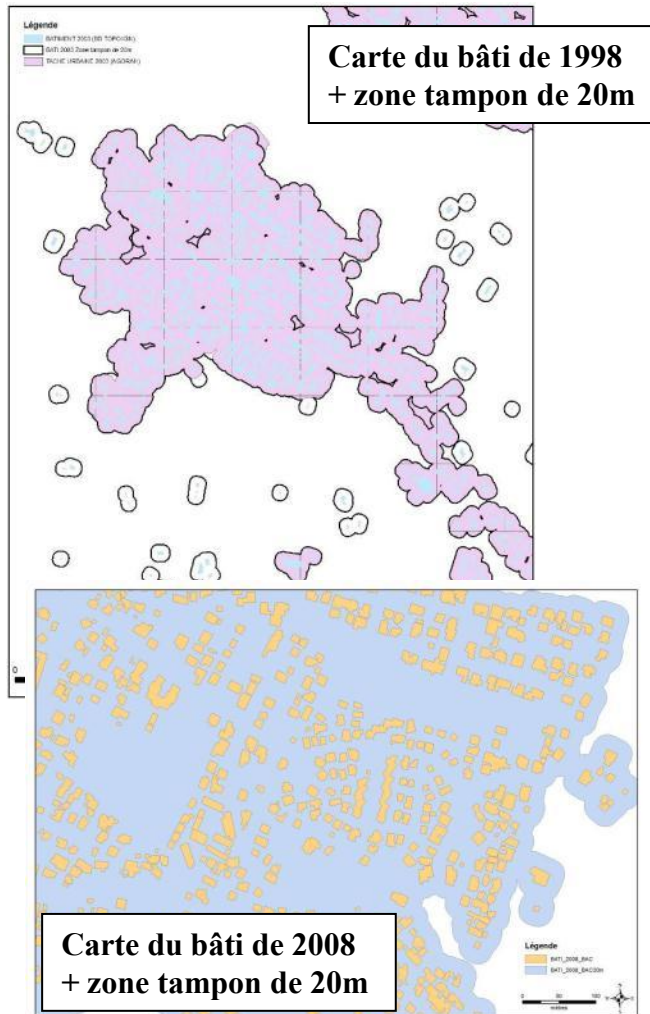
> Les pressions = toutes les activités polluantes présentes dans l'AAC et l'impactant significativement:

- Etat de l'assainissement collectif et non-collectif
- Pression agricole
- Pression industrielle
- Autres?

→ nécessité d'avoir ces données sous forme spatialisée pour croisement avec la carte de vulnérabilité

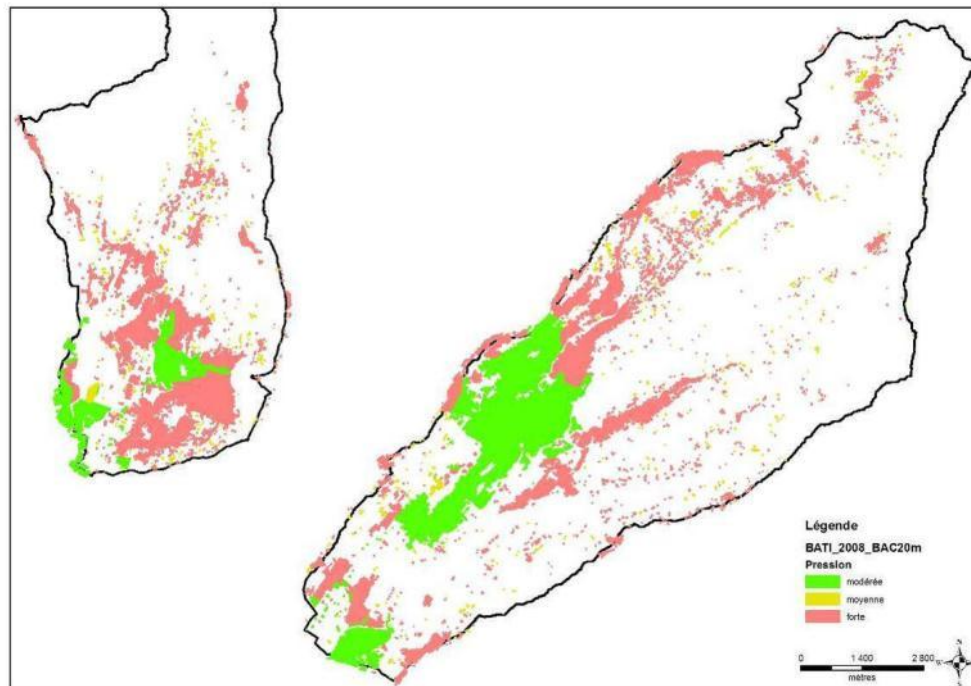
Cartographie du risque de pollution d'un AAC

- Exemple de méthodologie pour définir la pression assainissement (étude à la Réunion)



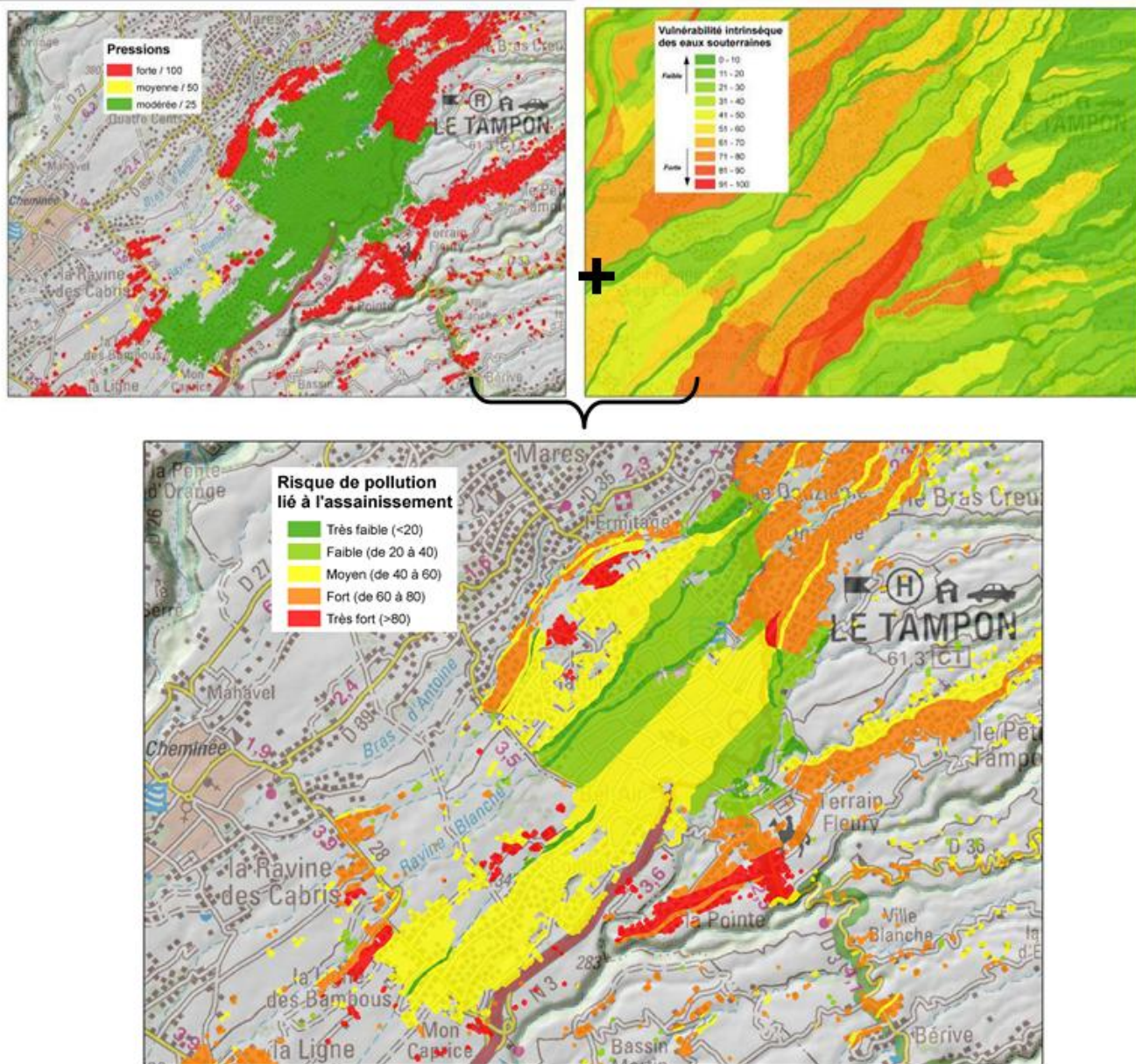
Cartographie du risque de pollution d'un AAC

- > Exemple de méthodologie pour définir la pression assainissement (étude à la Réunion)
 - Critères proposés pour la hiérarchisation de la pression domestique sur les AAC :
 - modérée : zone en assainissement collectif ;
 - moyenne : zone en assainissement non collectif avec du bâti récent ;
 - forte : zone en assainissement non collectif avec du bâti ancien et zone en assainissement collectif présentant un fonctionnement dégradé d'après les informations recueillies auprès des collectivités et de leurs délégataires éventuels.



Exemple de cartographie de la pression liée à l'assainissement

Cartographie du risque de pollution d'un AAC

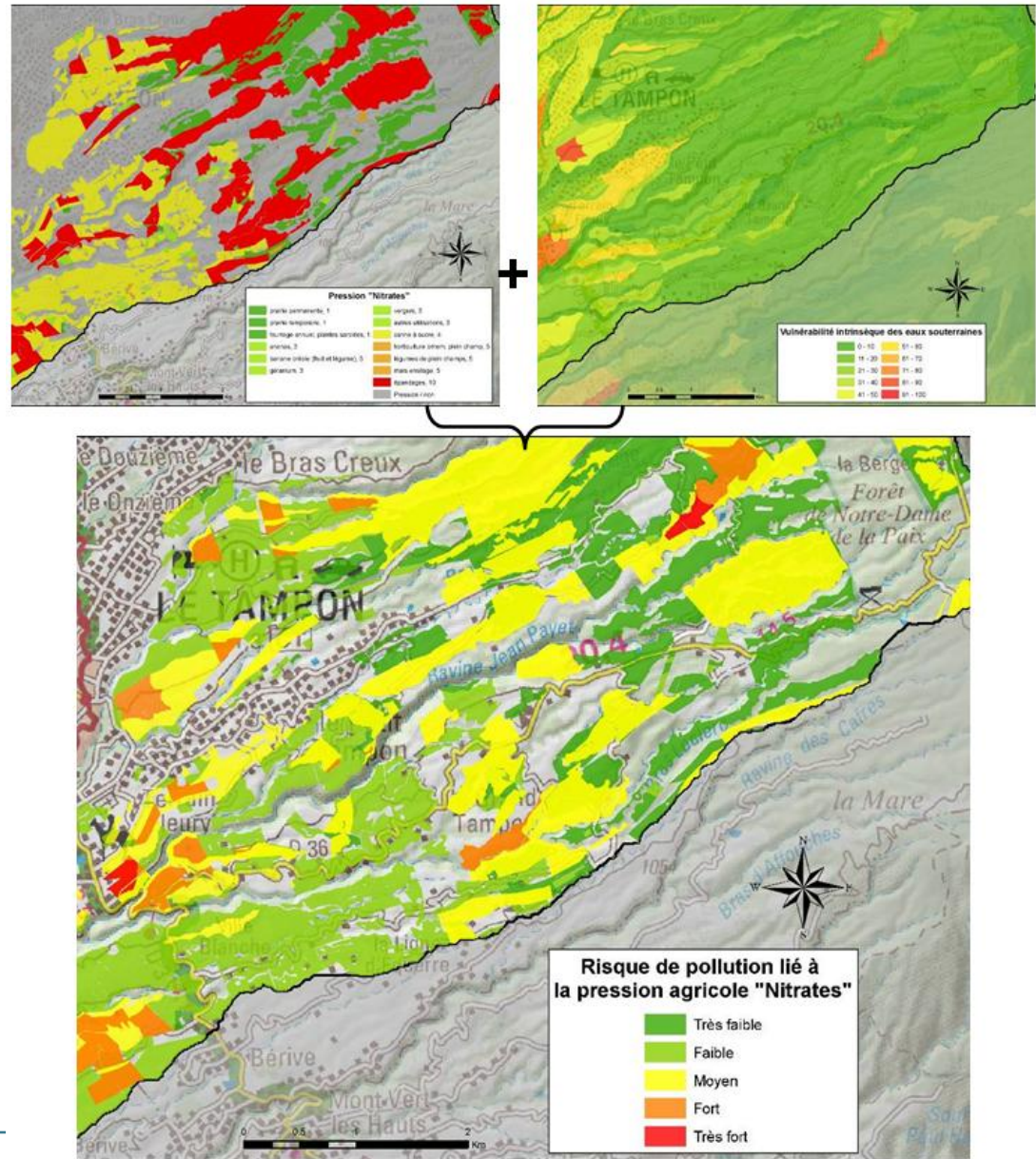


Cartographie du risque de pollution d'un AAC

- Exemple de cartographie du risque de pollution par les nitrates (étude à la Réunion)

Hiérarchisation de la pression en fonction du type de culture:

++ épandages, légumes de plein champs, canne à sucre...
-- vanille, ananas...etc...



Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

> **Outil de prévention contre les risques de pollution diffuse**

- Délimitation des Aire d'Alimentation de Captage (AAC)
- Cartographie de leur vulnérabilité
- Cartographie du risque de pollution

> **Outil d'aide à la caractérisation : typologie des nappes, évaluation des tendances d'évolution de concentrations**

- Etude de la typologie des nappes par les variogrammes
- Tests statistiques de tendance et exemples de représentation

> **Outil de représentation des entités hydrogéologiques BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères)**

- Objectifs, principes de construction
- Outils SIG de valorisation

Contexte et problématique de l'étude

> **DCE (2000/60/CE) et Directive Eaux Souterraines**

- Bon état (quantitatif et) qualitatif des masses d'eau à l'horizon 2015
- Identifier les tendances d'évolution des concentrations en polluants
- Mettre en place un programme de mesures pour atteindre le bon état
- En cas d'échec, justifications

> **Directive Nitrate (91/676/CE)**

- Identifier les masses d'eau présentant des teneurs supérieures à 50 mg/L ou susceptibles de les dépasser
- Engager des mesures préventives

> **Etude sur les temps de transfert et les tendances d'évolution des pollutions diffuses des aquifères du bassin Seine-Normandie (AESN)**

- Caractériser ces pollutions (nitrates, produits phytosanitaires) à l'échelle du bassin
- Travailler sur l'état actuel de contamination
- Valoriser et interpréter les données historiques d'évolution des niveaux piézométriques et de qualité chimique des eaux.

Quels outils pour décrire les tendances à l'échelle d'un point d'eau ? D'une masse d'eau ?

Principales applications proposées

> Pour les données « piézométrie »

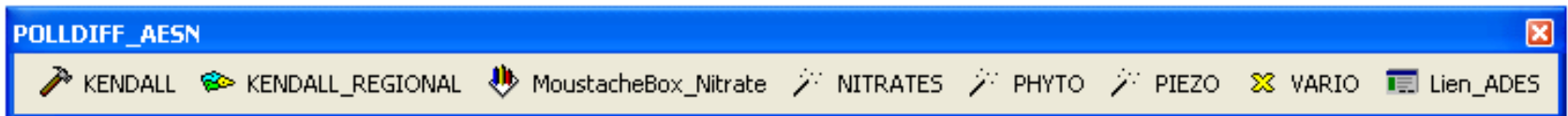
- Chroniques des côtes piézométriques (en m NGF)
- Calcul des variogrammes à différentes portées (selon la longueur totale de la chronique)

→ Qualifier l'inertie de la nappe

> Pour les données « qualité »

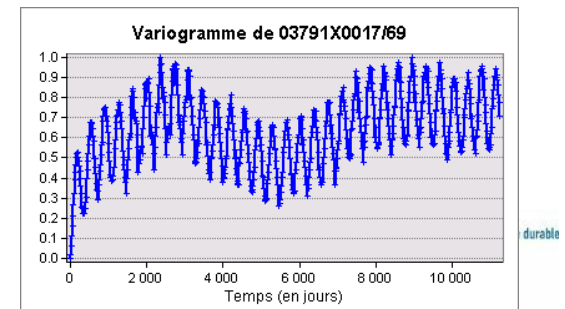
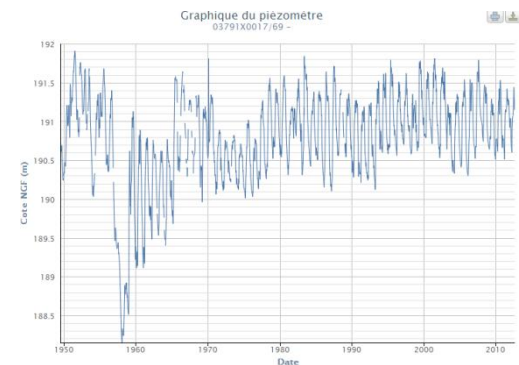
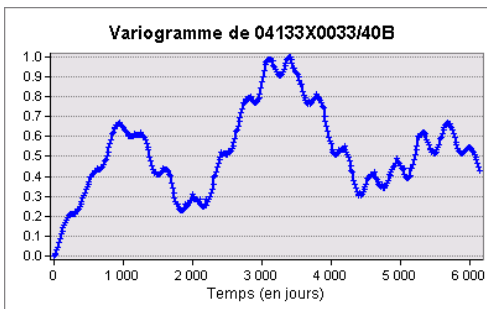
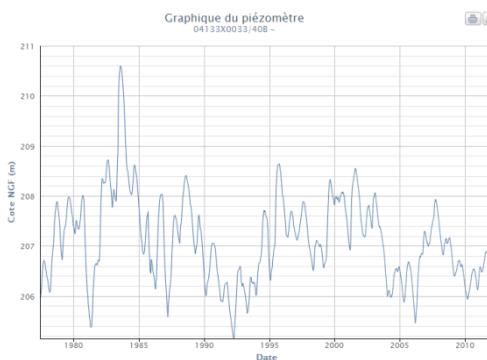
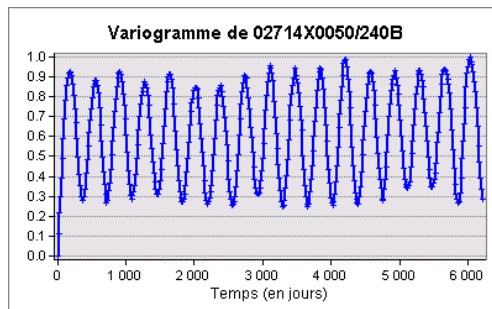
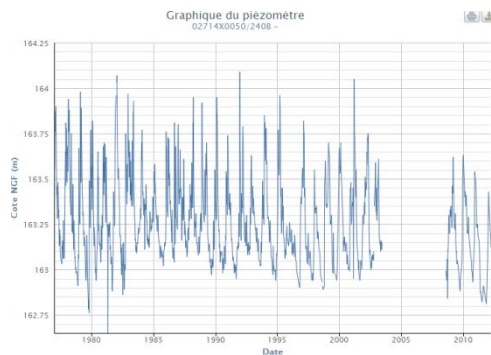
- Chroniques des teneurs en nitrates des qualitomètres (en mg/l)
- Chroniques des teneurs en produits phyto / micropolluants / paramètres physico-chimiques des qualitomètres (en mg/l)
- Test « Boite à moustache » sur les teneurs en nitrates
- Test « Mann-Kendall » sur les teneurs en nitrates = test par point d'eau
- Test « Mann-Kendall régional » sur les teneurs en nitrates = test en utilisant tous les points d'une unité homogène

→ Mettre en évidence des tendances à la hausse, à la baisse, « stationnaires » (à plusieurs échelles)



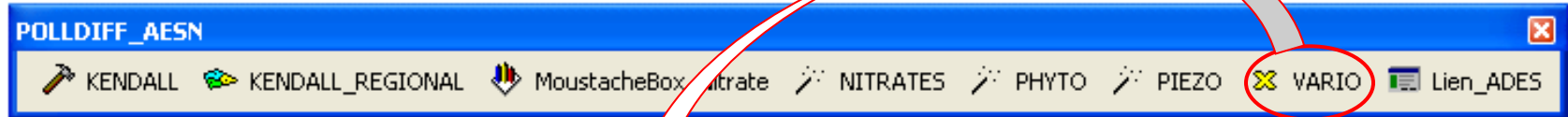
Caractérisation de la dynamique des nappes : Type de cycle hydrodynamique

- **Le variogramme temporel** : Cette méthode permet de comparer, sur un piézomètre donné et pour différentes valeurs de Δt , une mesure à un temps t à une mesure à un temps $t + \Delta t$, par l'intermédiaire d'un variogramme temporel.
- Permet de mettre en évidence des cycles dans la fluctuation du niveau de la nappe.



Variogrammes piézométriques

> Interface de l'application



Variogrammes piézo

Si vous avez sélectionné un seul point BSS à l'aide de l'outil sélection d'Arcview

Choisissez la portée parmi celles proposées ci-dessous puis cliquez sur OK



☐ 2 ans ☐ 5 ans ☐ 10 ans ☐ Maxi

Pour une recherche par code BSS

Etape 1 : choisissez le point d'après la liste ci-dessous

Etape 2 : choisissez la portée parmi celles proposées ci-dessous puis cliquez sur GO

☐ 2 ans ☐ 5 ans ☐ 10 ans ☐ Maxi

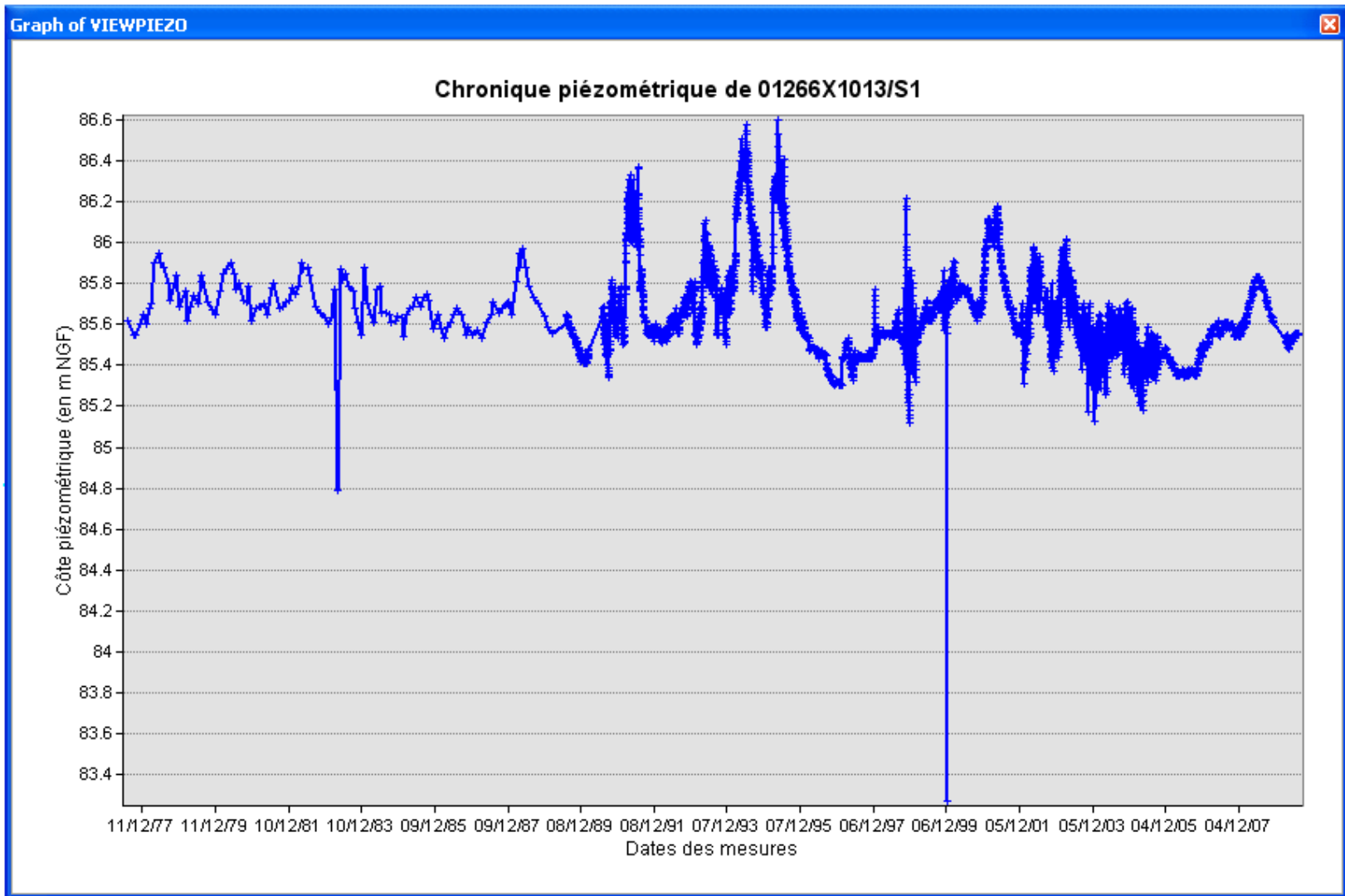
 

- Deux possibilités : consulter le variogramme d'un piézomètre préalablement sélectionné sur le visualiseur d'Arcmap ou consulter le variogramme du point en tapant son code BSS ;
- Possibilité de réaliser le calcul sur 4 « portées » différentes (fonctions de la longueur de la chronique piézométrique utilisée) : 2 ans, 5 ans, 10 ans ou la portée maxi

Variogrammes piézométriques

> Exemple de rendu

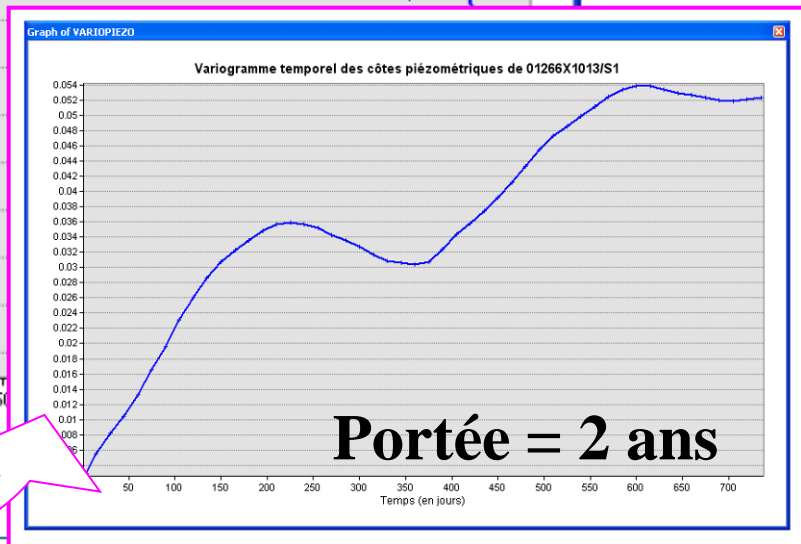
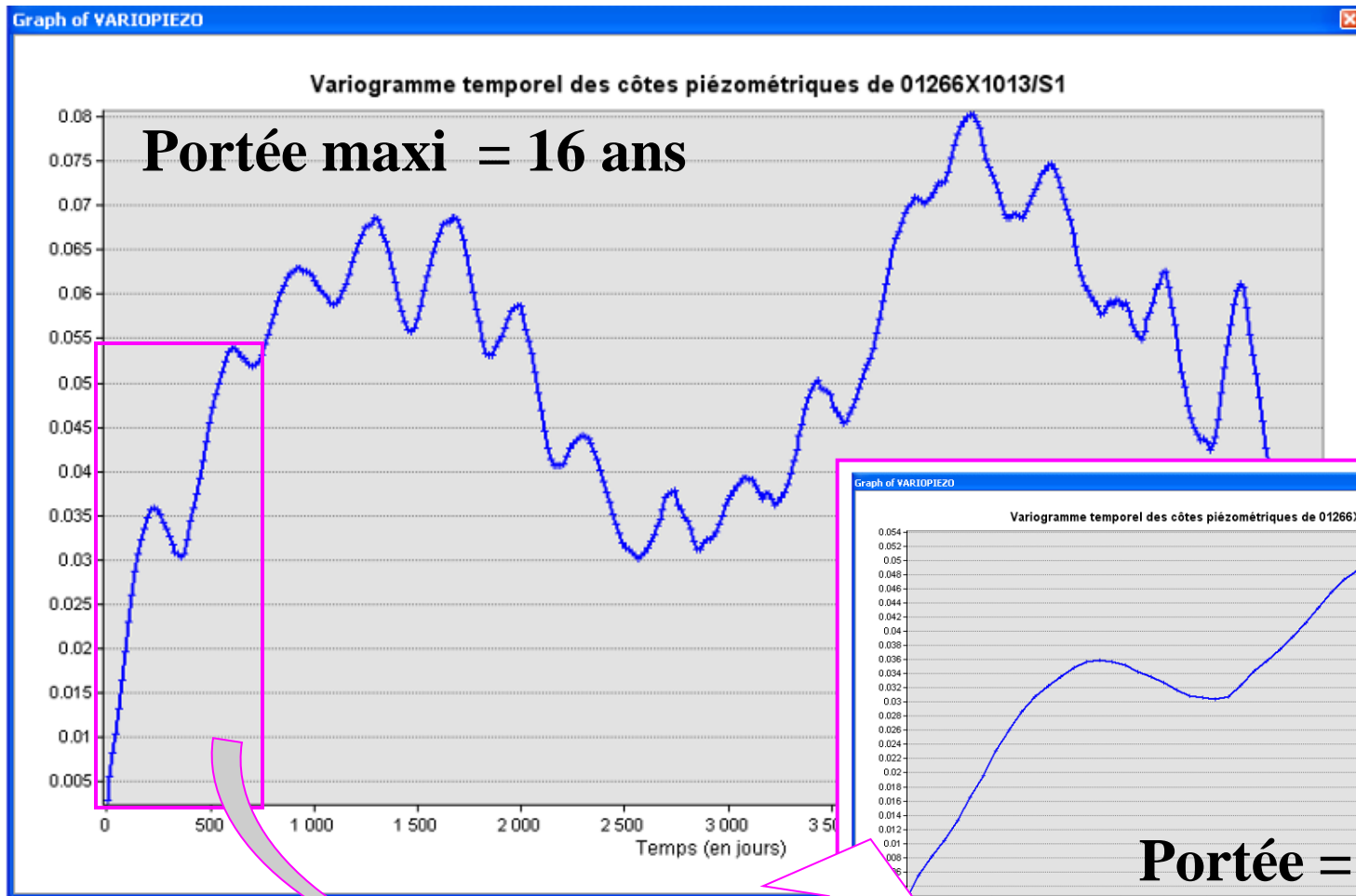
- Piézomètre 01266X1013/S1 – chroniques allant de 07/1977 à 07/2009



Variogrammes piézométriques

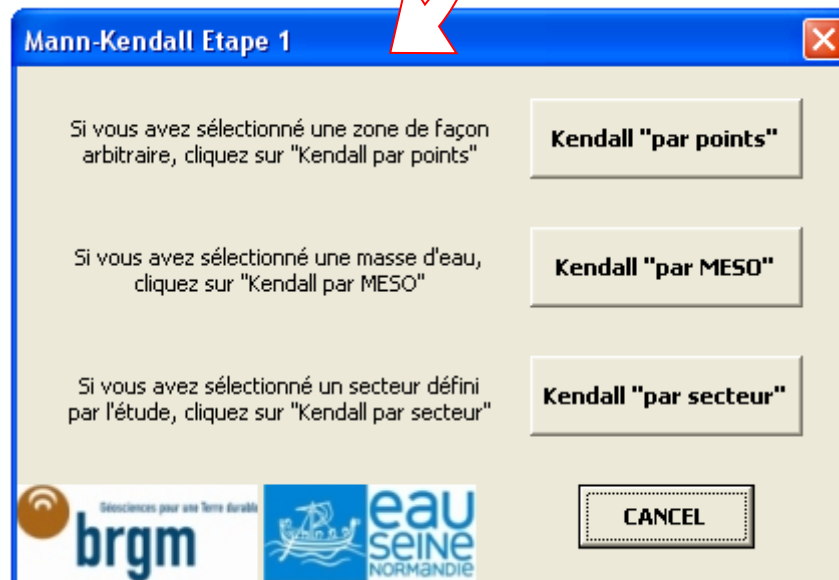
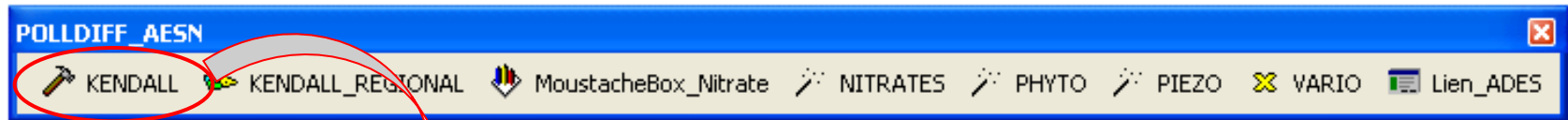
> Exemple de rendu

- Piézomètre 01266X1013/S1 – chroniques allant de 07/1977 à 07/2009



Test de « Mann-Kendall »

> Interface de l'application – 1 –

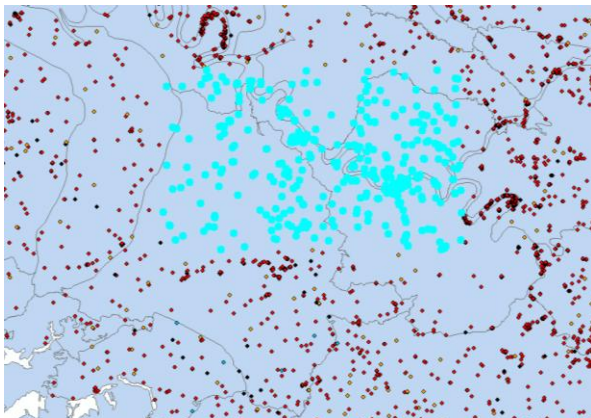


- Estimation des tendances (point par point) et affichage cartographique des résultats (couleur affectée au point suivant la variation et l'amplitude de la variation) ;
- Trois types de sélection peuvent s'opérer pour cet outil : une sélection « par points » réalisée à l'aide de l'outil dédié d'Arcmap, une sélection « par secteurs » d'après le travail de sectorisation en zones de comportements hydrodynamiques homogènes et une sélection « par masses d'eau souterraine »

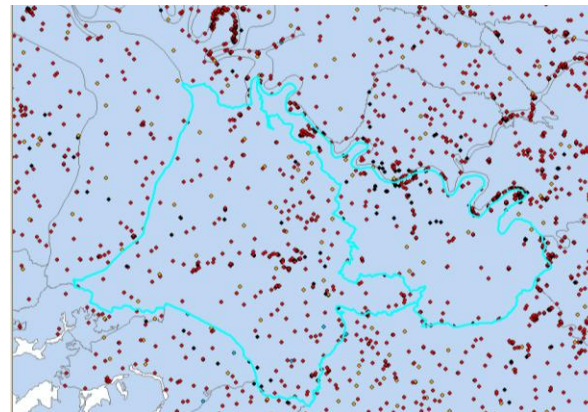
Test de « Mann-Kendall »

> Interface de l'application – 2 –

- Les choix de la zone et de la période considérée sont donc donnés à l'utilisateur



Kendall par points



**Kendall par MESO ou
secteur homogène**

Mann_Kendall [X]

Avant de lancer ce test, veuillez délimiter la zone d'investigation à l'aide de l'outil Selection de Arcmap.
Les ouvrages concernés seront alors en surbrillance.

Début de la période considérée (jj/mm/aaaa) [] / [] / []

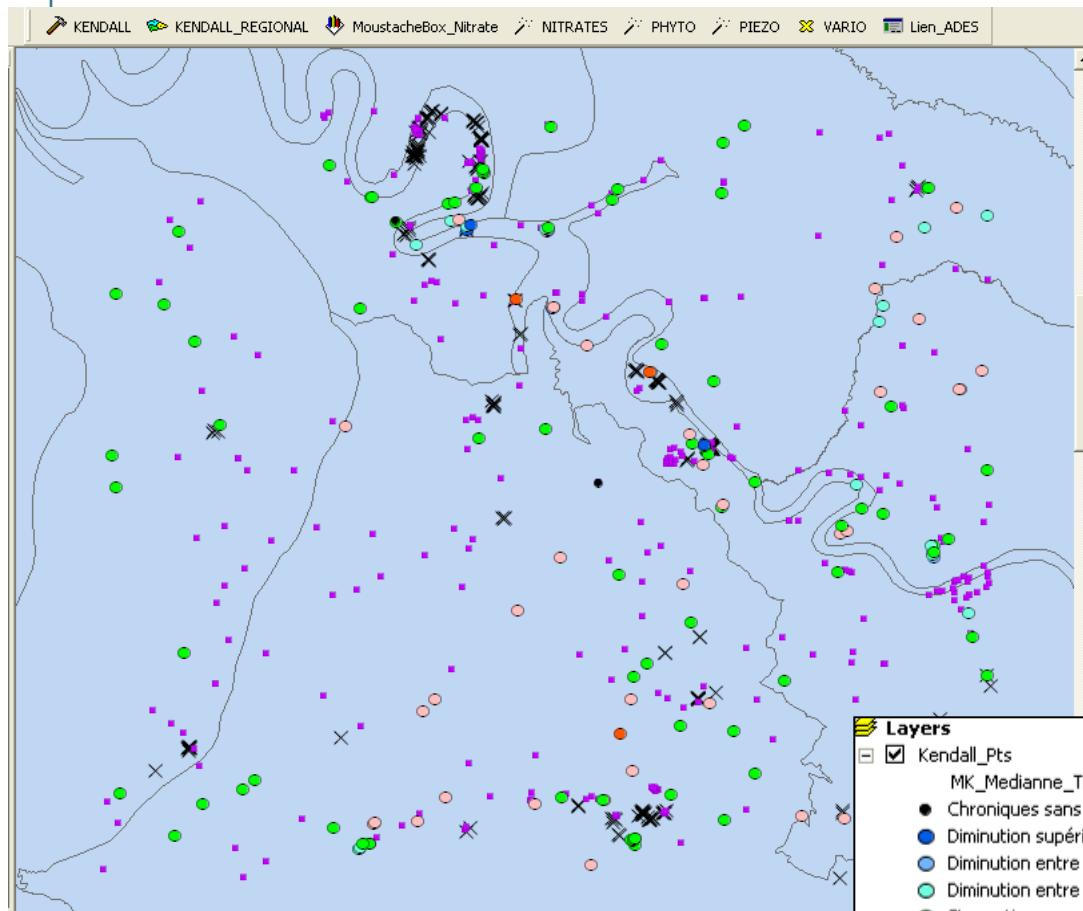
Fin de la période considérée (jj/mm/aaaa) [] / [] / []

[ANNULER] [OK]

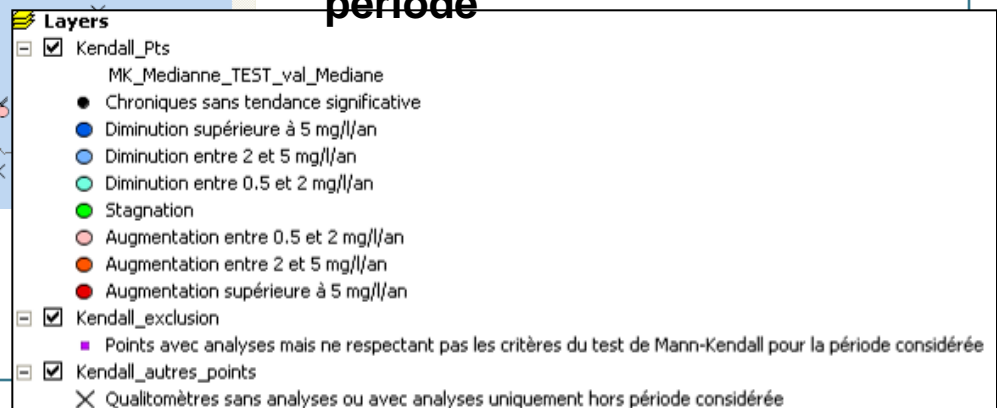
**Choix de la période
considérée**

Test de « Mann-Kendall »

> Exemple du rendu – création de 3 shapes

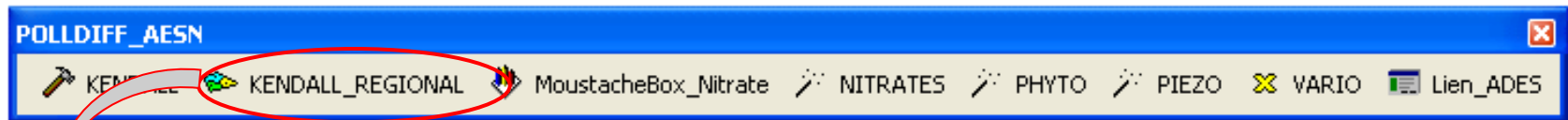


- Un shape des points pour lesquels la tendance a été calculée (avec pentes d'évolution en mg/l/an, nb d'analyse, dates min/max et valeurs min/max);
- Un shape des points avec analyses mais ne respectant pas les critères de départ du test;
- Un shape des qualitomètres sans analyses ou ayant des analyses uniquement hors de la période

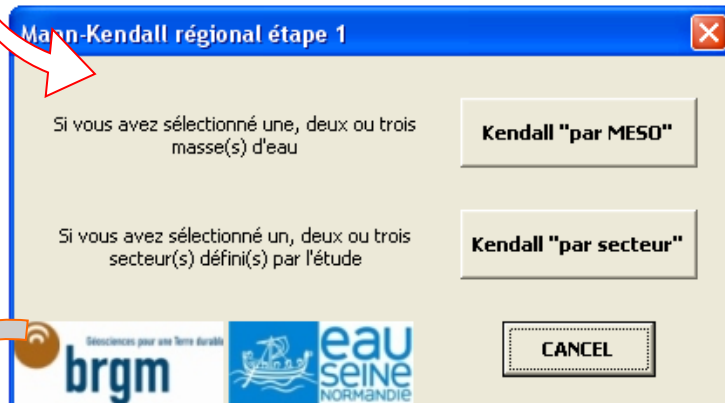


Test de « Mann-Kendall » régional

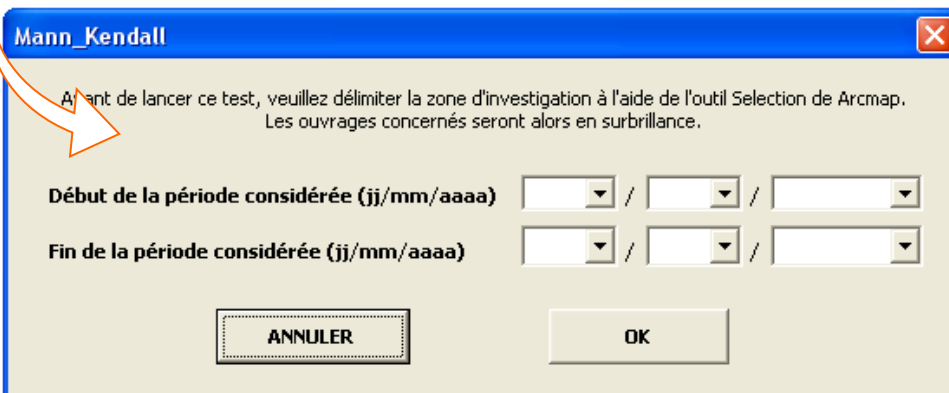
> Interface de l'application



Etape 1 : type de sélection opérée



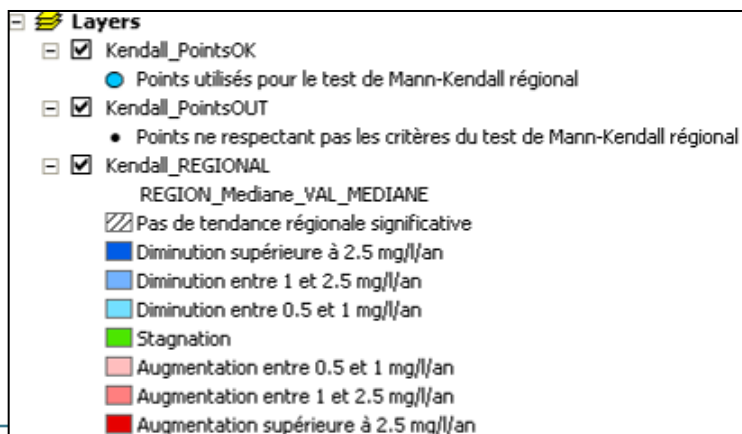
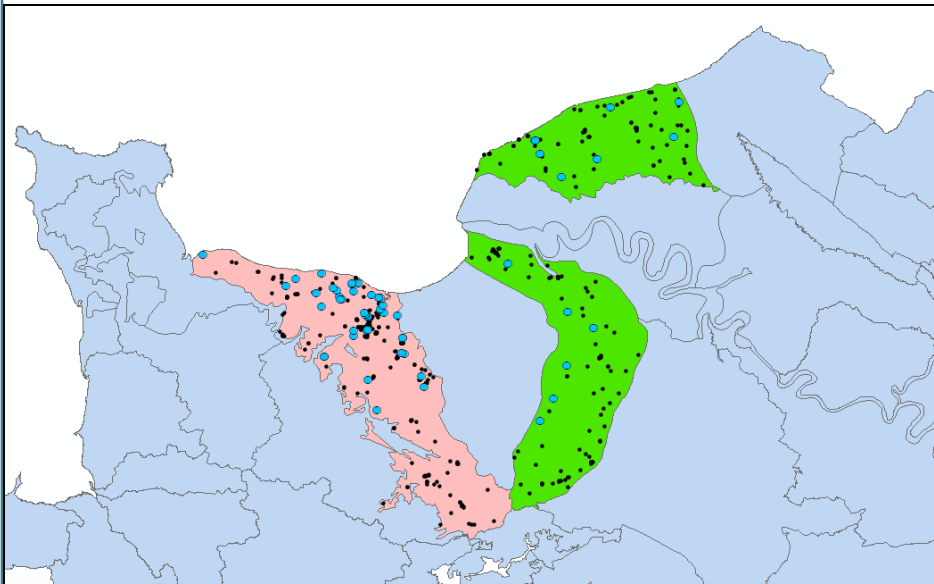
- le calcul s'effectue par zones homogènes définies dans le projet (« secteurs ») ou les masses d'eaux (pas de sens de faire une sélection par polygone « aléatoire »).



Etape 2 : Période considérée

Test de « Mann-Kendall » régional

> Exemple du rendu – création de 3 shapes



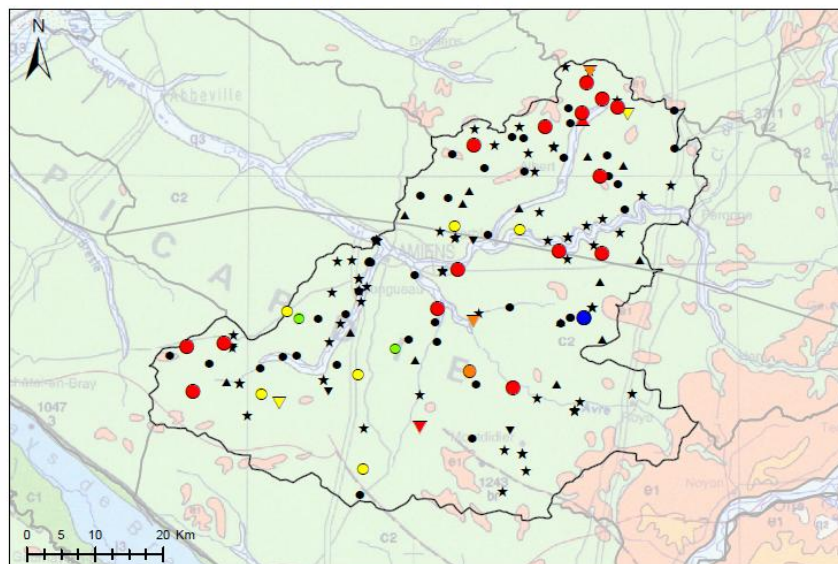
- Un shape des polygones (MESO ou secteur) avec attribution d'une couleur selon la valeur de la tendance régionale au cours de la période considérée + attribution de la valeur de la tendance d'évolution en mg/l/an ainsi que le nombre de points utilisés pour le calcul;
- Un shape des qualitomètres utilisés pour le test de Mann-Kendall régional
- Un shape des qualitomètres ignorés

Développements complémentaires

> Tendence Nitrates par MESO, France Métro + DOM

Craie de la moyenne vallée de la Somme

Code MESO : AG012

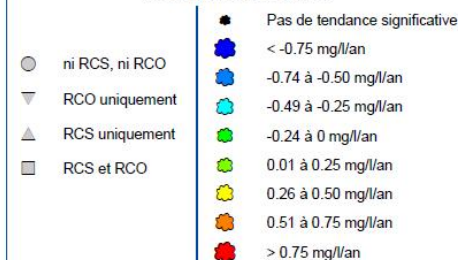


Tendance d'évolution des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines

Test de Mann-Kendall par point

(Période considérée : du 01/10/1996 au 01/10/2011)

Appartenance à un réseau de suivi DCE et tendance d'évolution



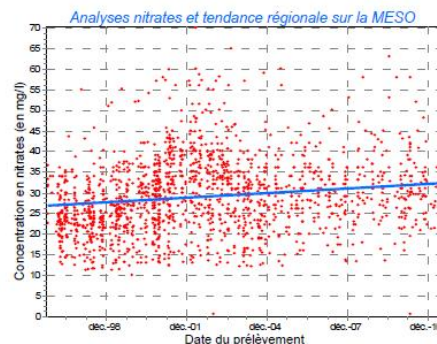
★ Points ayant moins de 10 analyses des concentrations en nitrates dans la période considérée



Tableau de synthèse - Mann-Kendall

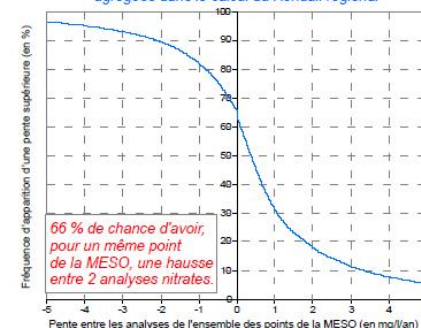
Points analysés dans la MESO	158		
Points ayant fait l'objet d'un test Mann-Kendall	91		
Tendance non significative (p-value > 0.05)	59		
Tendance significative (p-value ≤ 0.05)	32		
		Tendance à la hausse (> 0 mg/l/an)	30
		dont > 0.25 mg/l/an	28
		dont > 0.5 mg/l/an	20
		Tendance à la baisse (< 0 mg/l/an)	2
		dont < -0.25 mg/l/an	2
		dont < -0.5 mg/l/an	2

Kendall régional (nbre de points : 91)



penste : 0.37 mg/l/an (p-value = < 0.0004 Tendence significative au seuil de confiance 5%)

Courbe des fréquences d'appartenance des penstes agrégées dans le calcul du Kendall régional



66 % de chance d'avoir, pour un même point de la MESO, une hausse entre 2 analyses nitrates

Cartographie et systèmes d'information géographique pour la gestion des ressources en eau souterraine

> **Outil de prévention contre les risques de pollution diffuse**

- Délimitation des Aire d'Alimentation de Captage (AAC)
- Cartographie de leur vulnérabilité
- Cartographie du risque de pollution

> **Outil d'aide à la caractérisation : typologie des nappes, évaluation des tendances d'évolution de concentrations**

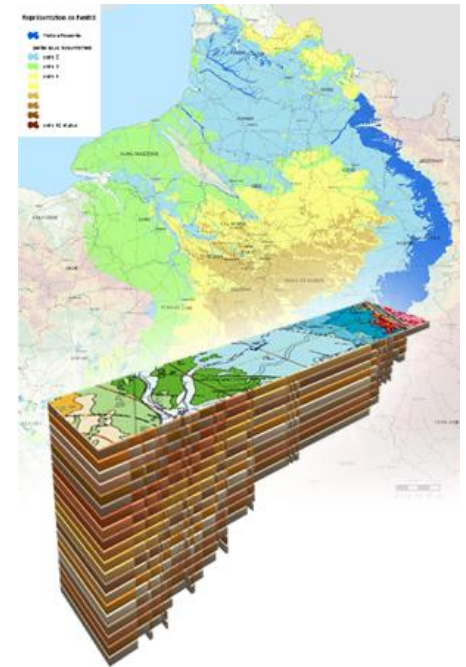
- Etude de la typologie des nappes par les variogrammes
- Tests statistiques de tendance et exemples de représentation

> **Outil de représentation des entités hydrogéologiques BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères)**

- Objectifs, principes de construction
- Outils SIG de valorisation

Objectifs du référentiel BDLISA

- > **BDLISA est un système d'identification unique des aquifères, réalisé selon des règles communes, permettant de traiter et d'échanger les informations intégrées dans une base de données associée à un référentiel cartographique partagé.**
- > **Il permet de :**
 - Participer à l'élaboration et à l'amélioration des jeux de données de référence du système d'information sur l'eau dans le domaine des eaux souterraines.
 - Assurer une cohérence de représentation cartographique des ressources en eau souterraine à l'échelle du territoire national.
 - Consulter les informations associées aux entités hydrogéologiques (niveau, thème, nature, milieu, état).
 - Faciliter l'échange de ces données entre différents utilisateurs.
 - Participer à la production des connaissances nécessaires pour mettre en œuvre les politiques nationales et communautaires sur les eaux souterraines et pour orienter leurs actions.

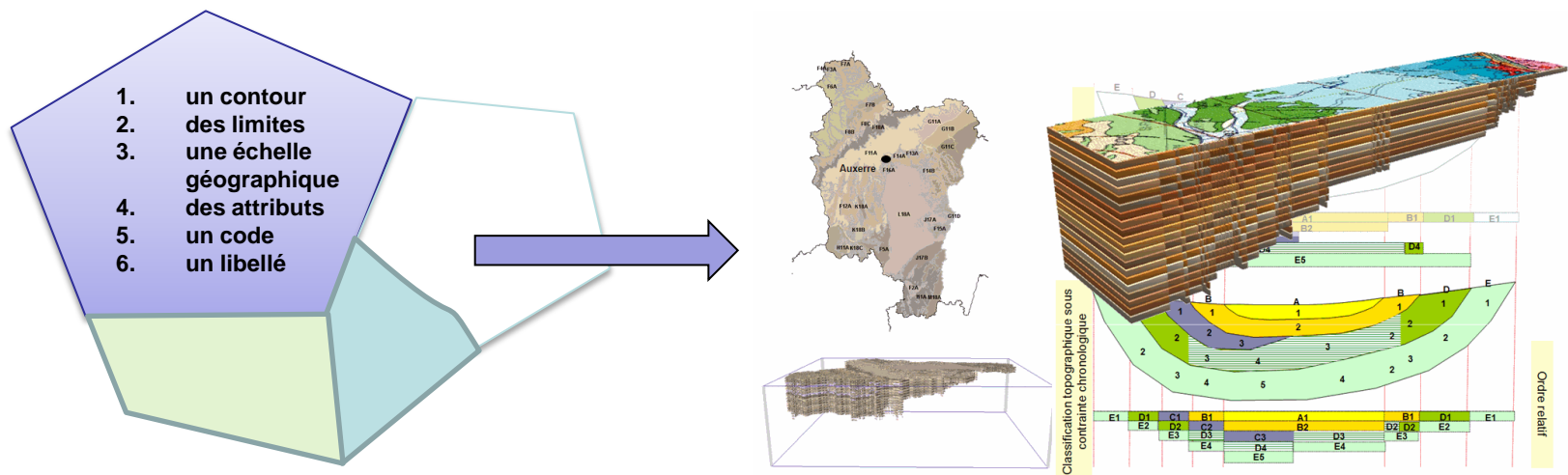


Objectifs du référentiel BDLISA

> Découpage du territoire en « entités hydrogéologiques »

→ Modèle "hydrogéologique" du territoire avec :

- ses concepts (caractérisation d'une entité hydrogéologique),
- ses principes de construction,
- son mode de représentation des entités,
- un modèle de gestion développé sous ArcGis.



→ Les entités sont **organisées en niveaux** de lecture (NV1, NV2, NV3), **ordonnées verticalement et liées** entre elles.

→ Echelle d'utilisation : 1/50 000

Construction du référentiel BDLISA

> Etape 1 : construction à l'échelle de chaque région du log hydrogéologique complet

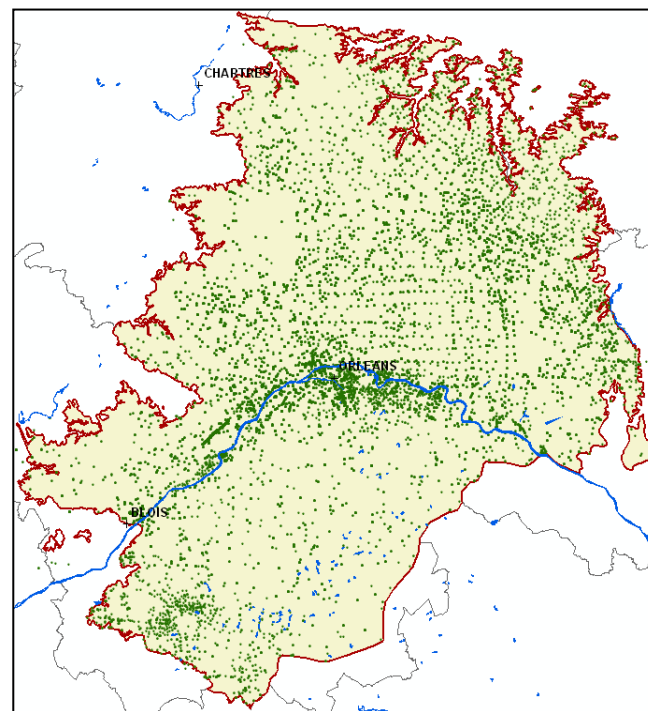
- Structuration suivant les 3 échelles géographiques du référentiel : NV1, NV2 et NV3

> Etape 2: cartographie des extensions de chaque entité

- Basée sur des infos géologiques (cartes géologiques harmonisées, BSS), hydrogéologiques (référentiels « historiques », forages, cartes piézométriques) ou autres (BD Carthage, MNT..etc...)

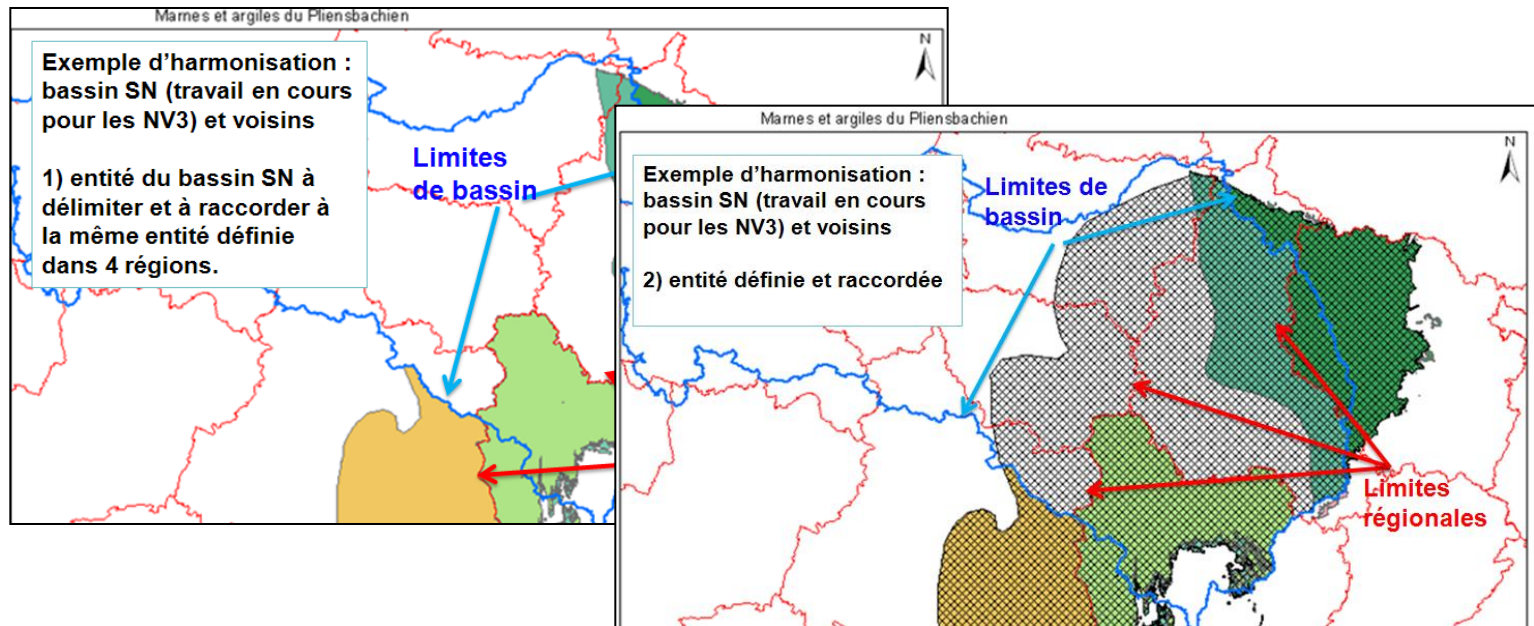
NV2 LORRAINE - CHAMPAGNE - ALSACE bossue			NV3 LORRAINE - CHAMPAGNE - ALSACE bossue				
Nom Provisoire Entité	Code	Ordre absolu	Nom Provisoire Entité	Code	Ordre absolu	Nature	
Sables du Thanétien	119A	1800	Sables du Quesnoy	119A01	1800	US	SN-CHA et RM-CHA (absent en Lorraine)
Argiles du Gault, Marnes et Gaizes	125A	2500	Marnes du Fréty	125A01	2450	UI	
			Gaize d'Argonne	125A03	2500	UA	SN-LOR CHA SN-CHA et RM-CHA
			Argiles du Gault	125A05	2550	UI	SN-LOR CHA SN-CHA et RM-CHA
Sables de l'Albien	128A	2700	Sables verts, sables verts inférieurs et sables indifférenciés de l'Albien	128A01	2700	US	SN-LOR et RM-LOR
Argiles, Sables et Marnes de l'Aptien-Barrémien	128C	2800	Argiles à Plicatules, grès et sables piquetés, argiles ostréennes	128C01	2800	US	
Sables du Néocomien	128E	2900	Sables et calcaires marneux de l'Hauteriviens et du Valanginien	128E01	2900	US	SN-LOR (uniquement en Lorraine SN)
Calcaires du Tithonien	131A	3000	Calcaires marneux	131A01	3000	UI	
			Calcaires lithographiques, Oolites de Bure, Calcaires à débris du Tithonien	131A03	3050	UA	
Marnes du Kimmeridgien	134A	3100	Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien supérieur niveau A	134A01	3110	UI	Piegrouper 134A01 et 134A03. Nouveau libellé: Marnes à exogres supérieures et Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien
			Marnes à exogres supérieures du Kimmeridgien	134A03	3110	UI	
			Marnes à exogres et Marno-calcaires supérieurs B du Kimmeridgien	134A07	3110	UA	
			Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien supérieur niveau B	134A02	3120		
			Calcaires blancs supérieurs du Kimmeridgien	134A05	3120		
			Marnes à exogres et Marno-calcaires supérieurs A du Kimmeridgien	134A09	3120		
			Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien supérieur niveau C	134A04	3150	US	Piegrouper 134A04 et 134A11 : Marnes à exogres moyennes et Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien
			Marnes à exogres moyennes du Kimmeridgien	134A11	3150	US	
			Marnes et Calcaires indifférenciés du Kimmeridgien supérieur niveau D	134A06	3160	UI	

Logs validés caractérisant une entité



Construction du référentiel BDLISA

> Etape 3 : Harmonisation inter-bassins



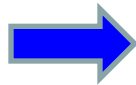
> Etape 4 : Harmonisation nationale

- Assurer la continuité des contours de part et d'autre des frontières de bassin
- Vérifier et rendre cohérent les numéros d'ordre des entités
- Vérifier la cohérence de l'ensemble du référentiel aux 3 niveaux d'utilisation (NV1, NV2, NV3)
- Harmoniser la codification et la dénomination des entités

Construction du référentiel BDLISA

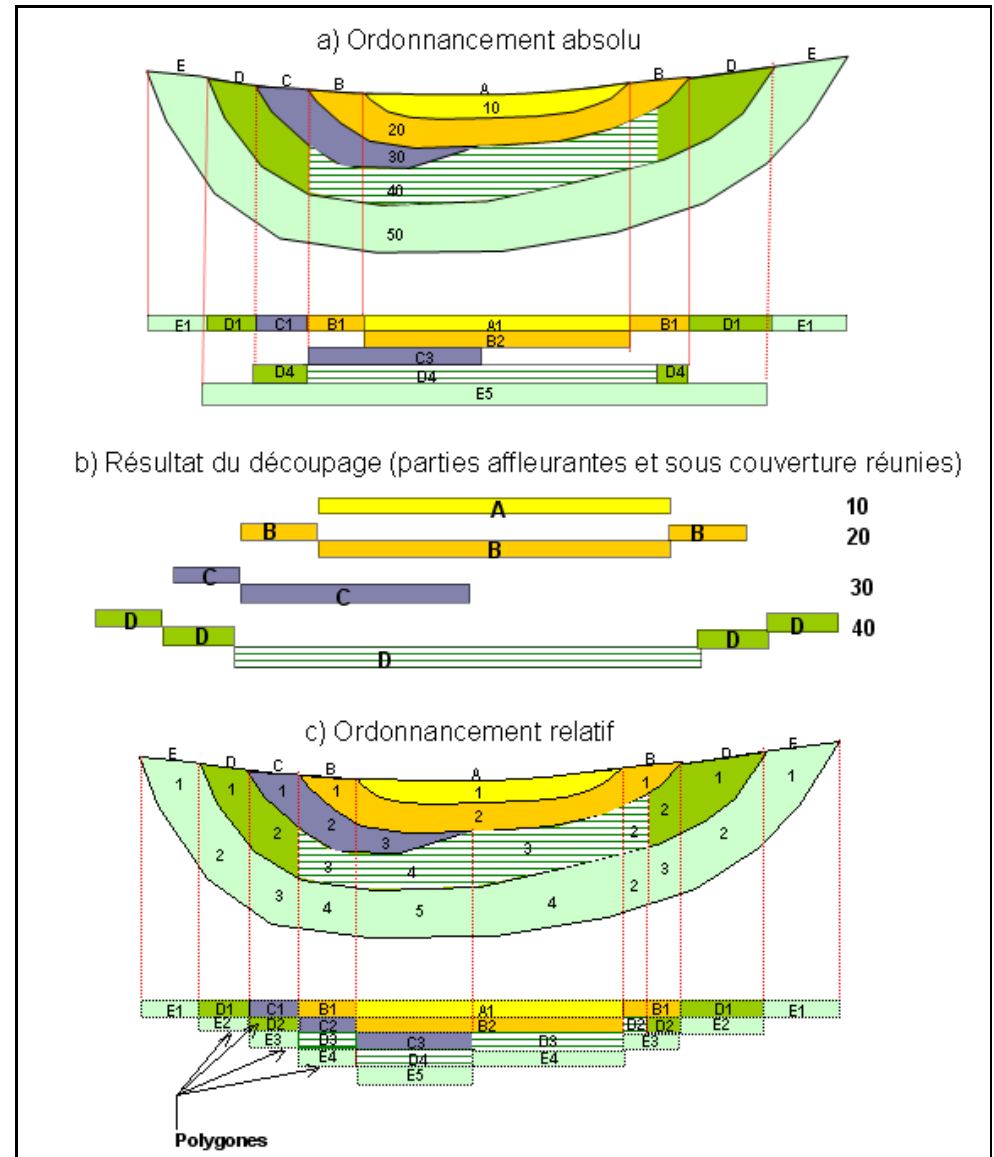
- > **Etape 4 : Ordonnancement vertical des entités en définissant un ordre de superposition**

Ordre absolu



L'outil de construction sous ArcGis© permet de passer automatiquement de l'ordre absolu à un ordre dit relatif

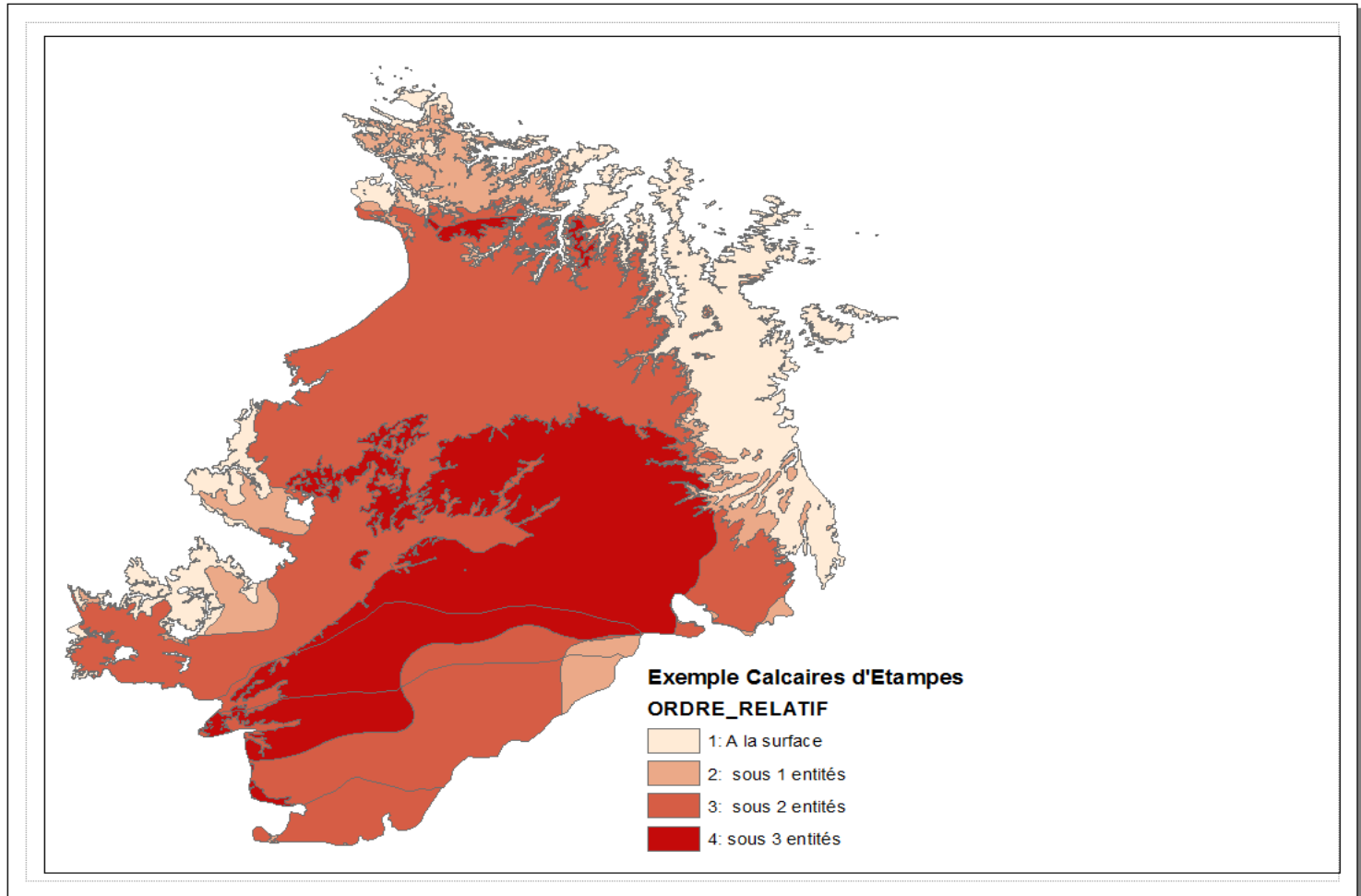
Ordre relatif



Exemple d'utilisation de la BDLISA

Calcaires de Beauce et ses caractéristiques

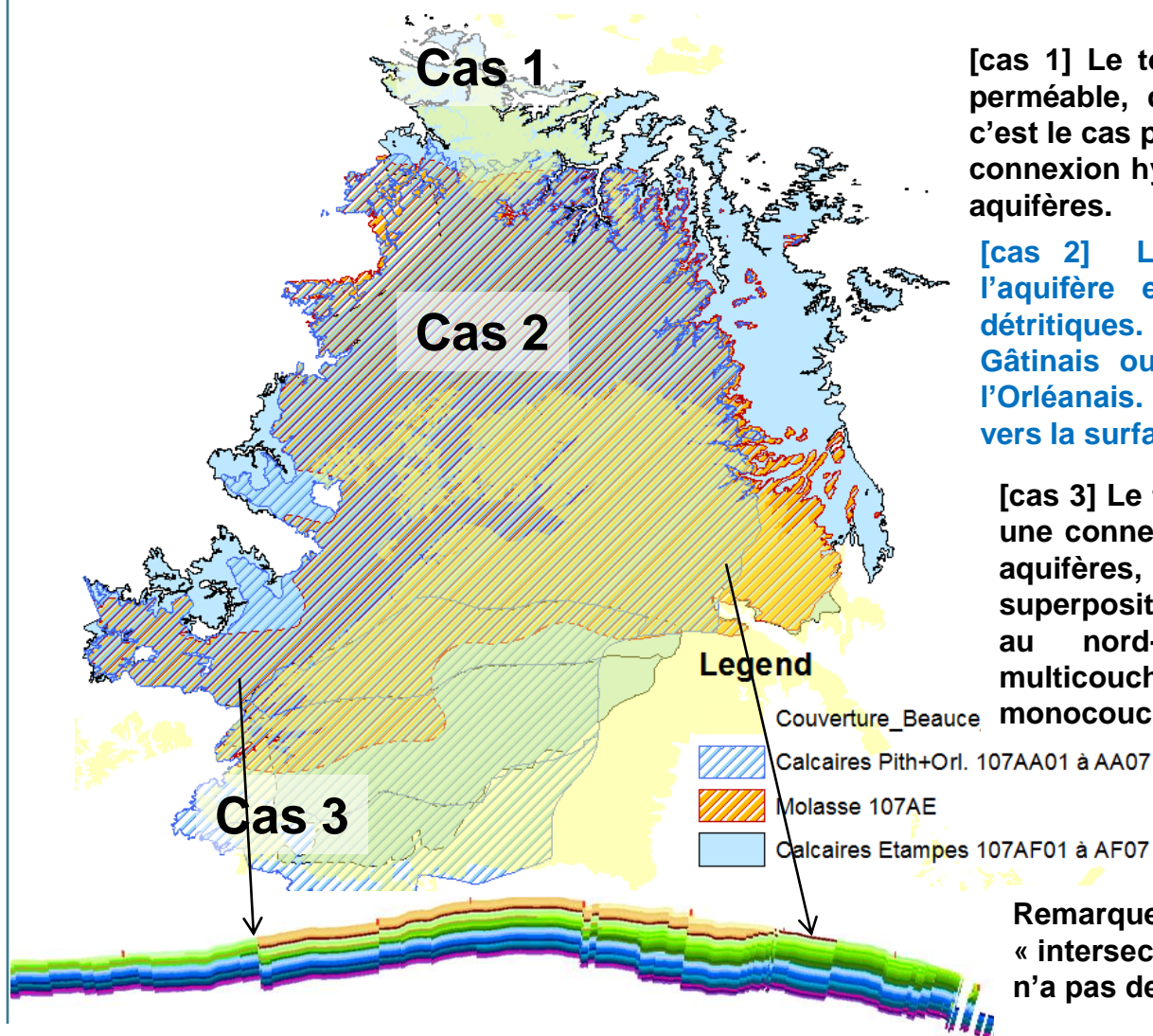
Intérêt des ordres par entité : D'un aquifère libre à la surface à un aquifère captif sous couverture (Calcaires d'Etampes)



Exemple d'utilisation de la BDLISA

Calcaires de Beauce et ses caractéristiques

Les entités superposées : différents cas de connexions hydrauliques



[cas 1] Le toit est une entité semi-perméable ou perméable, différente de l'aquifère sous-jacent : c'est le cas pour les Sables de Lozère au nord, une connexion hydraulique est possible entre les deux aquifères.

[cas 2] Le toit est une entité imperméable : l'aquifère est alors recouvert par des dépôts détritiques. C'est le cas pour les Molasses du Gâtinais ou les Marnes, Calcaires et Argiles de l'Orléanais. Ils forment une éponte imperméable vers la surface ou vers l'aquifère superposé.

[cas 3] Le toit est une entité aquifère : il y a alors une connexion hydraulique entre les deux entités aquifères, comme c'est le cas pour la superposition des calcaires de Pithiviers au sud et au nord-ouest de l'extension. L'aquifère multicouche peut être considéré comme aquifère monocouche dans ces zones de contact.

Remarque : Coupe réalisée avec outil « intersection » d' Arcgis (attention : cette coupe n'a pas de réalité physique!)

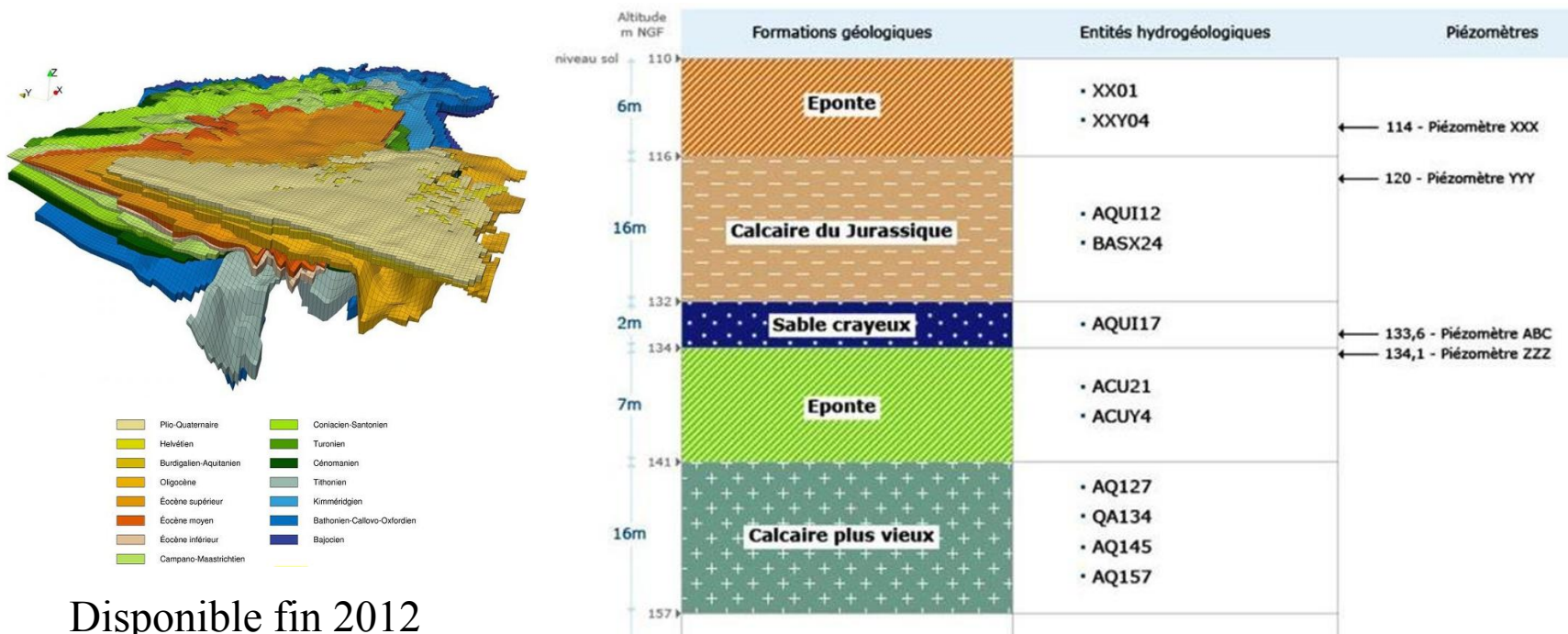
Affichage des couches via des web services (sur ADES + SIGES, Infoterre....)
et du log hydrogéologique (sur ADES en mode authentifié uniquement + SIGES)

Log

Perspectives de valorisation

➤ Développement d'un outil log géo-hydrogéologique sur l'espace cartographique du SIGES

Mise en cohérence des entités BD LISA et des principales formations géologiques : la connaissance des toits et murs des formations géologiques (modèle géologiques en contexte sédimentaire) devrait permettre d'afficher les profondeurs sur « consultation à la demande »



Disponible fin 2012
sur le SIGES Aquitaine –
Modèle MONA

Merci de votre attention...