

Modélisation exploratoire des transferts de produits phytosanitaires en domaine souterrain et reconstitution de leur origine en rivière par analyse tendancielle

Hélène Blanchoud, Nicolas Gallois, Alexandra Mattei, Thomas Puech, Nills Fauchon, Pascal Viennot, Céline Schott, Fluvia Bartelli, Catherine Mignolet, Nicolas Flipo, et al.

▶ **To cite this version:**

Hélène Blanchoud, Nicolas Gallois, Alexandra Mattei, Thomas Puech, Nills Fauchon, et al.. Modélisation exploratoire des transferts de produits phytosanitaires en domaine souterrain et reconstitution de leur origine en rivière par analyse tendancielle. Colloque annuel du Programme PIREN-Seine, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). FRA., Oct 2016, Paris, France. pp.30. hal-02741566

HAL Id: hal-02741566
https://hal.inrae.fr/hal-02741566

Submitted on 3 Jun 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Modélisation exploratoire des transferts de produits phytosanitaires en domaine souterrain et reconstitution de leur origine en rivière par analyse tendancielle

*Session « **Scénariser les futurs du bassin** »*

H. Blanchoud[1], N. Gallois[2], A. Mattei[1,4], T. Puech[3], N. Fauchon[4], P. Viennot[2], C. Schott[3], F. Baratelli[2], C. Mignolet[3], N. Flipo[2], J.-M. Mouchel[1]

[1] UMR METIS, UPMC-CNRS-EPHE, Paris
[2] MINES ParisTech/ARMINES, Centre de Géosciences, Fontainebleau
[3] INRA-SAD Aster, Mirecourt
[4] VEDIF, Nanterre

Contextualisation



Pratiques culturales

Climat

Apports en pesticides

Volatilisation

Ruissellement

Transfert

Sorption

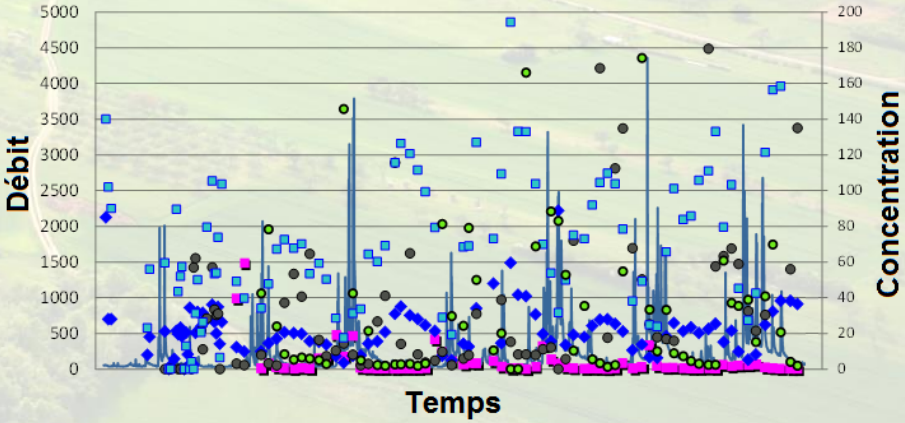
Dégradation

SOL

Interfaces nappe-rivière

Transferts dans les nappes

AQUIFERES



Restitution au cours d'eau

Contextualisation



Pratiques culturales

Climat

Apports en pesticides

Volatilisation

Ruissellement

Transfert

Sorption

Dégradation

SOL

1

Modélisation

Interfaces nappe-rivière

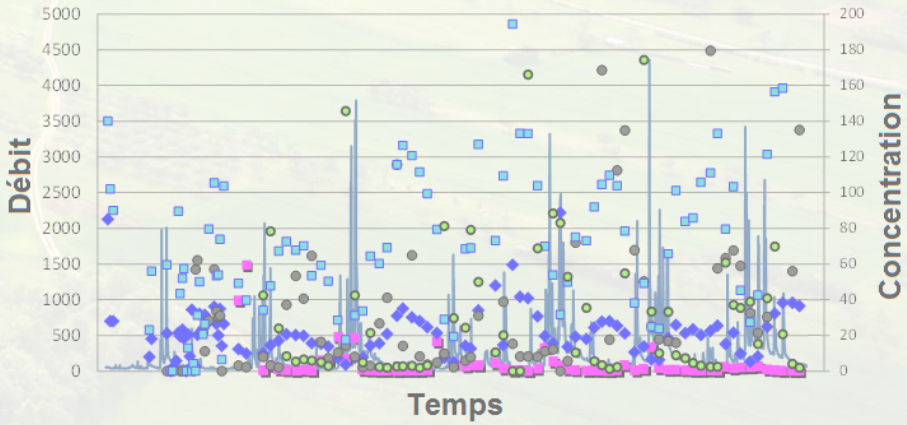
2

Analyse tendancielle

Transferts dans les nappes

AQUIFERES

Restitution au cours d'eau



Contextualisation



Pratiques culturales

Climat

Apports en pesticides

Volatilisation

Ruissellement

Transfert

Sorption

Dégradation

SOL

1

Modélisation

Interfaces nappe-rivière

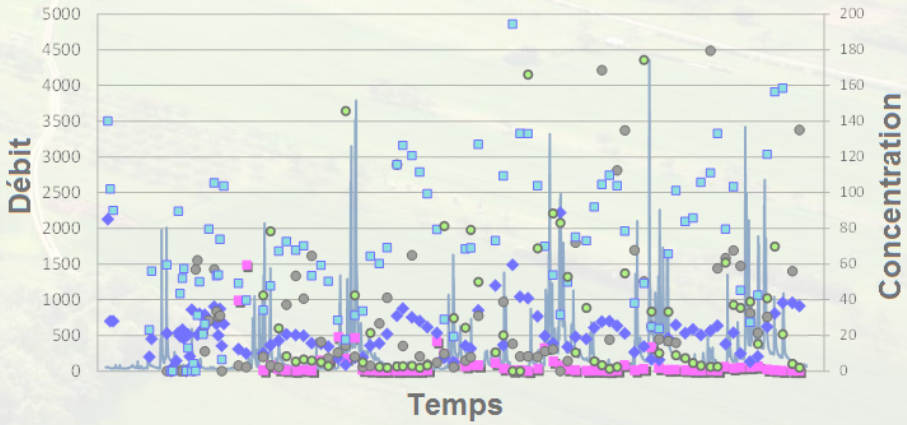
2

Transferts dans les nappes

AQUIFERES

Analyse tendancielle

Restitution au cours d'eau



I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

Contexte et objectifs

❖ Méthodologie de simulation spatialisée initiée dans le cadre de **travaux pour l'Agence de l'Eau Seine-Normandie** en 2014 (modélisations **STICS-MODCOU**).

Objectif

❖ Reconstituer les **évolutions mesurées des niveaux et dynamiques de pollution** en domaine aquifère.

Prérequis :

➢ Intégrer la **variabilité spatio-temporelle** rencontrée à large échelle du **climat**, des **sols** et des **systèmes de cultures** = **Première spatialisation du module PeSTICS** [1],

➢ Evaluer la **faisabilité** d'une **reconstruction de l'évolution des pratiques phytosanitaires** (**large échelle, temps long**) (INRA SAD Aster),

➢ **Identifier** les **spécificités** et **verrous** actuels de modélisation des transferts de pesticides **=** Mise en œuvre de **modélisations exploratoires** (ARMINES).

[1] [Queyrel, 2014] Thèse PIREN

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

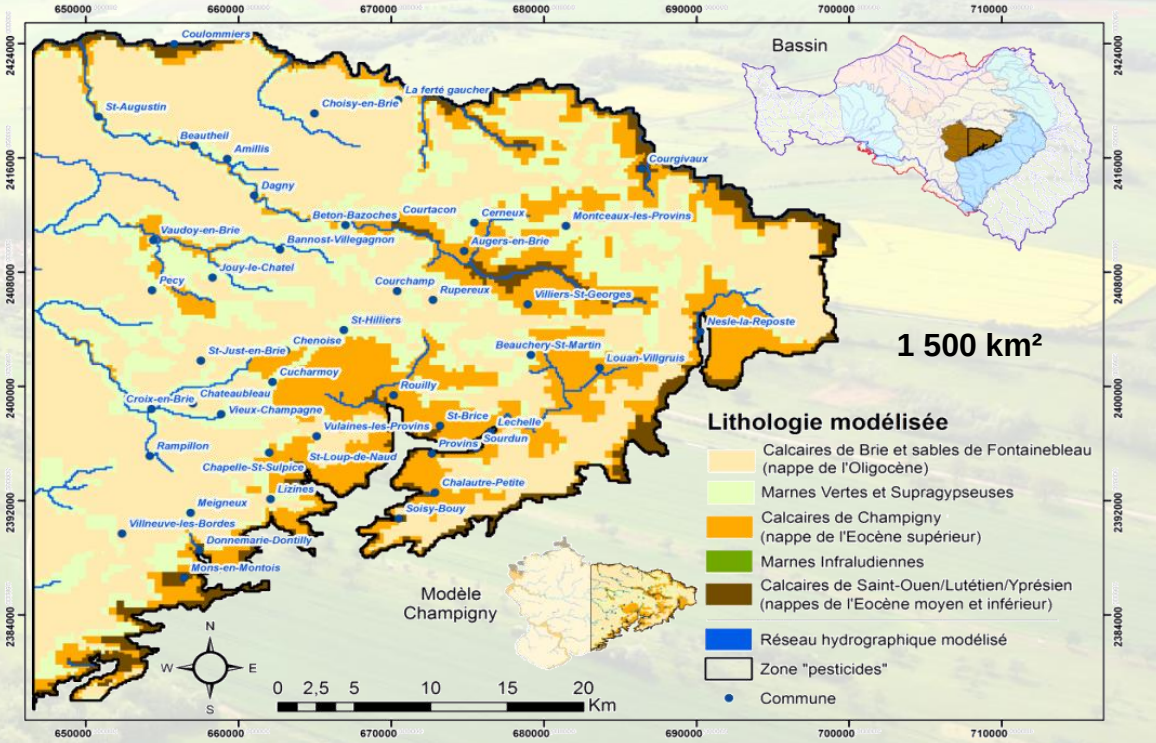
Zone d'étude

- Partie affleurante de la nappe des calcaires de Champigny (**Provinois** - Seine-et-Marne/Marne)
  - Préexistence d'un **modèle hydrogéologique local** [2] ,
  - **Mesures de concentrations souterraines** en pesticides disponibles (Eau de Paris, Aqui'Brie, AESN).

- Choix des molécules testées par modélisation, conditionné par :
  - Disponibilité de données **d'observations** avec un **recul d'une vingtaine d'années,**
  - Molécules ayant été testées dans le cadre de **l'élaboration du module PeSTICS.**

=

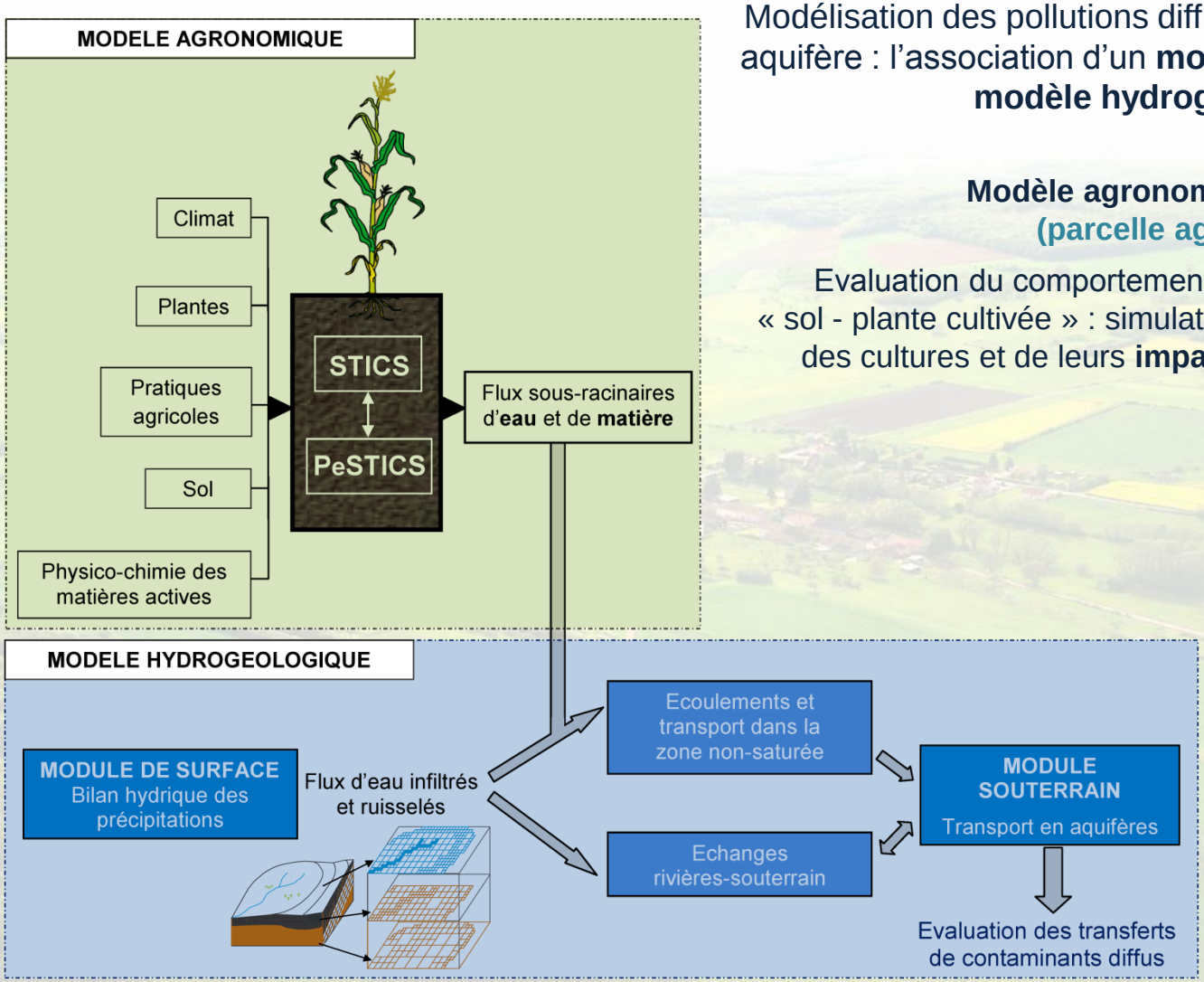
Isoproturon, Atrazine



[2] [Bellier, 2013]

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

La chaîne de modélisation PeSTICS/STICS-MODCOU



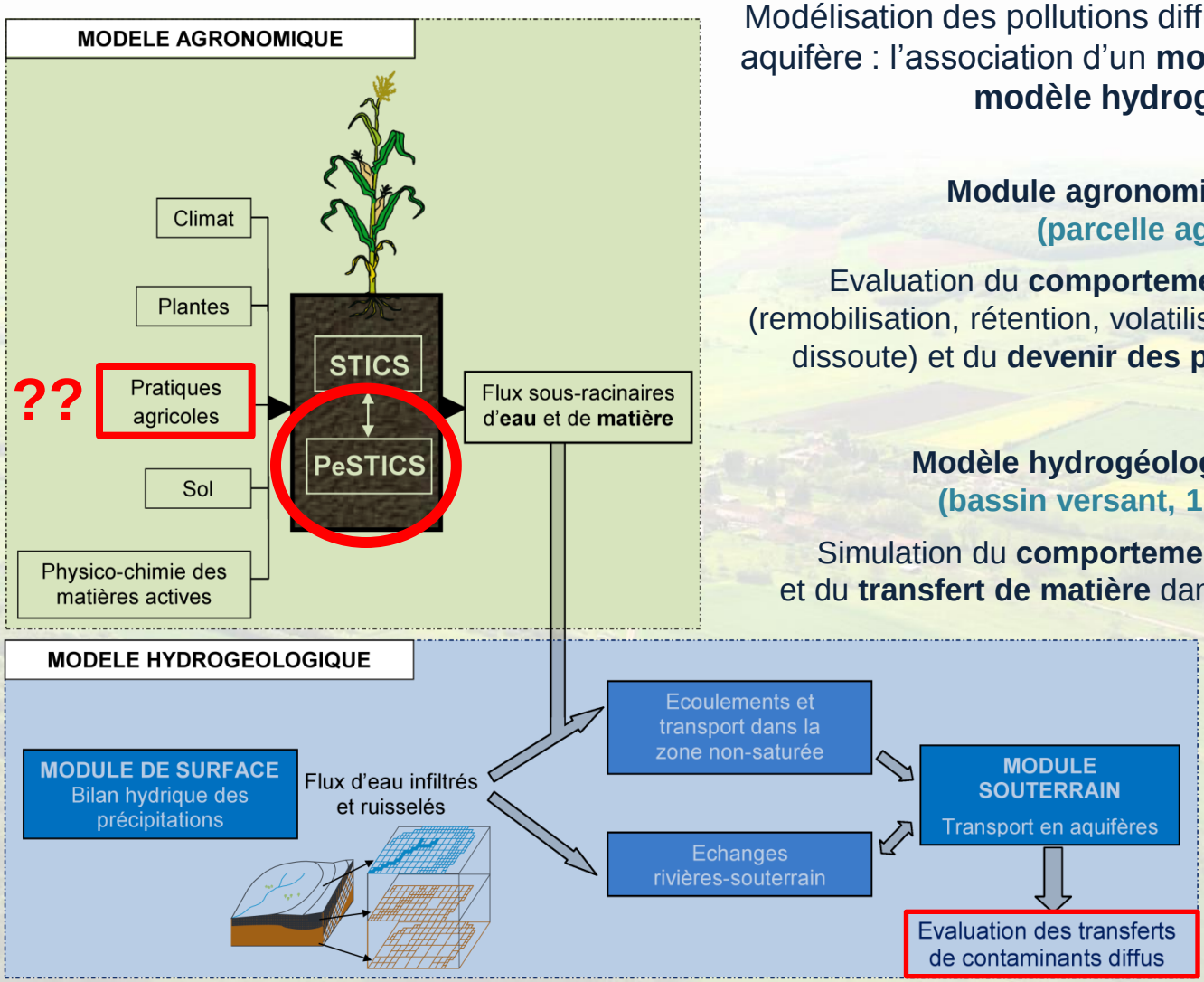
Modélisation des pollutions diffuses agricoles en domaine aquifère : l'association d'un **modèle agronomique** et d'un **modèle hydrogéologique**

Modèle agronomique STICS
(parcelle agricole)

Evaluation du comportement du système d'échange « sol - plante cultivée » : simulation du **cycle agronomique** des cultures et de leurs **impacts environnementaux**

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

La chaîne de modélisation PeSTICS/STICS-MODCOU



Modélisation des pollutions diffuses agricoles en domaine aquifère : l'association d'un **modèle agronomique** et d'un **modèle hydrogéologique**

Module agronomique PeSTICS
(parcelle agricole)

Evaluation du **comportement physico-chimique** (remobilisation, rétention, volatilisation, transferts sous forme dissoute) et du **devenir des pesticides dans les sols**

Modèle hydrogéologique MODCOU
(bassin versant, 1 ou plusieurs)

Simulation du **comportement d'un hydrosystème** et du **transfert de matière** dans tous ses compartiments

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

*Caractérisation des pratiques phytosanitaires sur une vingtaine d'année à l'échelle régionale***

- **Description des systèmes de culture** (assolements et pratiques culturales) au sein d'une base de données orientée « traitements phytosanitaires » (ARSeiNe).

  → Base de données OSITOP orientée **pesticides** (enquêtes sur l'Orgeval – PIREN Seine, SRPV, pratiques culturales 1994-2001-2006 et 2011).

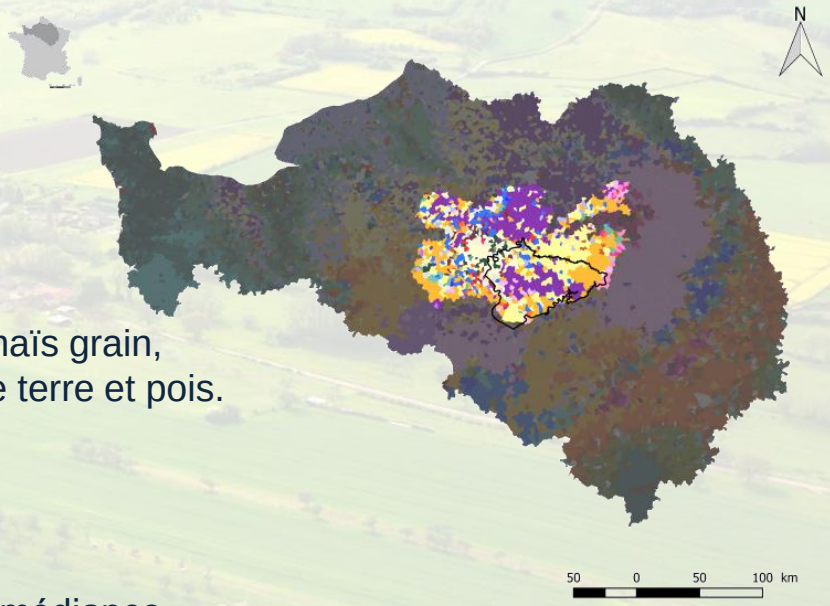
Extension spatiale : +/- Île-de-France.

Période couverte par les données : 1989 - 2011

Cultures :
betterave, blé tendre, colza, féverole, lin, maïs grain, orge d'hiver, orge de printemps, pomme de terre et pois.

Matières actives : Isoproturon et atrazine.

Indicateurs : Fréquences d'utilisation, dates et doses médianes.

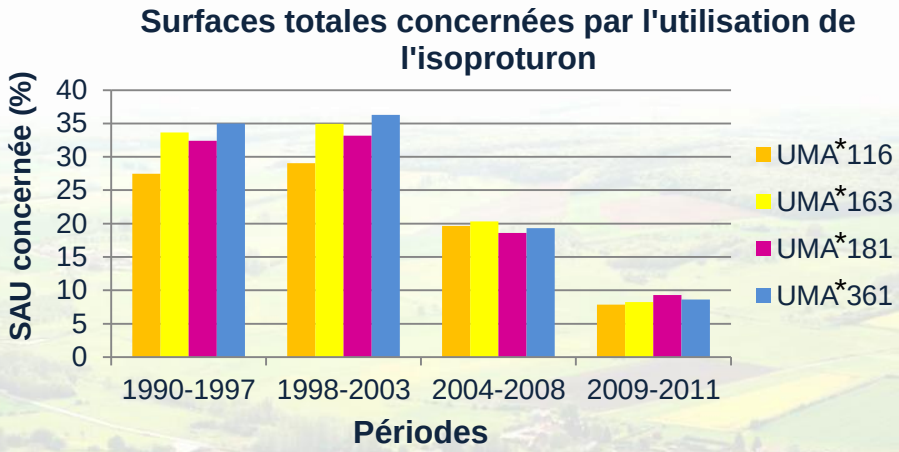


** Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-10-EQPX-17 (Centre d'Accès Sécurisé aux Données – CASD).

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

*Résultats et discussions***

❖ **Céréales et isoproturon** :



*(Zone agricole homogène sur la zone d'étude)

Dose médiane (g.ha^{-1})

Périodes	Blé tendre	Orge de printemps
1990 – 1997	750	500
1998 – 2003	750	600
2004 – 2008	750	500
2009 – 2011	860	

Dates d'utilisation

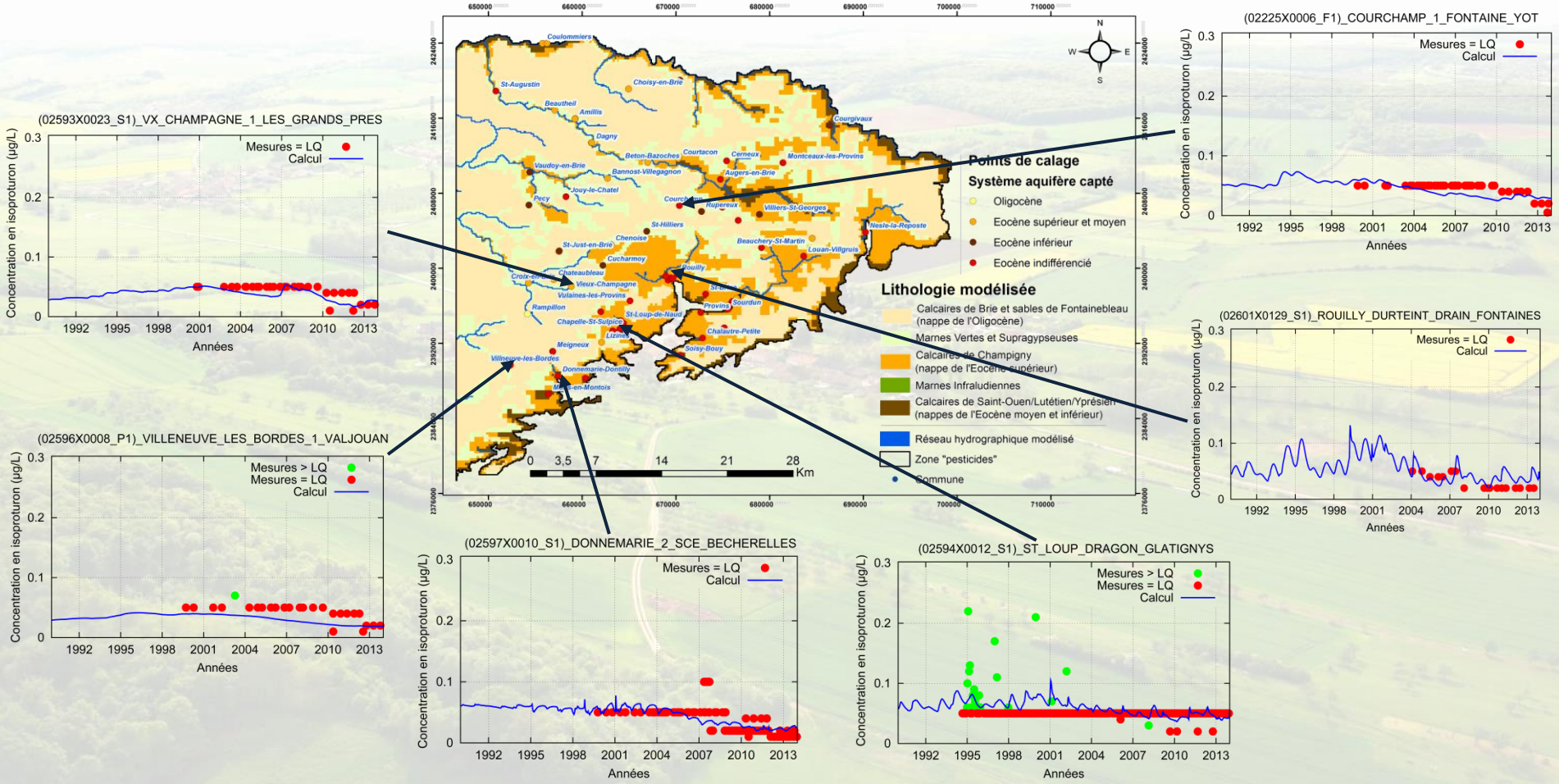
Périodes	Blé tendre			Orge de printemps		
	Q1	**Med**	Q3	Q1	**Med**	Q3
1990 - 1997	15/11	**15/12**	05/03	15/04	**05/05**	05/05
1998 - 2003	25/11	**25/02**	15/03	25/03	**05/04**	05/05
2004 - 2008	05/11	**15/11**	05/03	05/04	**15/04**	25/04
2009 - 2011	05/11	**05/11**	15/11			

** Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-10-EQPX-17 (Centre d'Accès Sécurisé aux Données – CASD).

I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

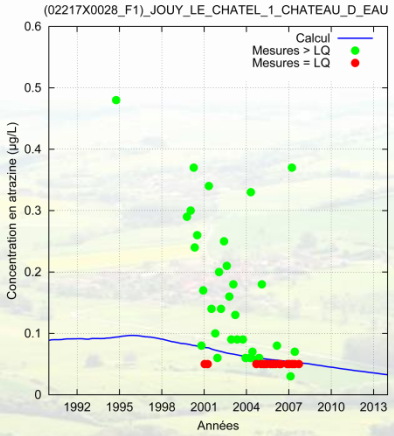
Résultats de modélisation du transfert de pesticides : ***Isoproturon***

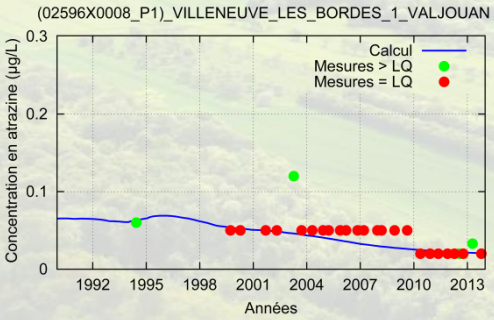
- Calcul PeSTICS spatialisé des **flux sous-racinaires** en produits phytosanitaires,
- Injection des **concentrations sous-racinaires** en entrée du modèle hydrogéologique.

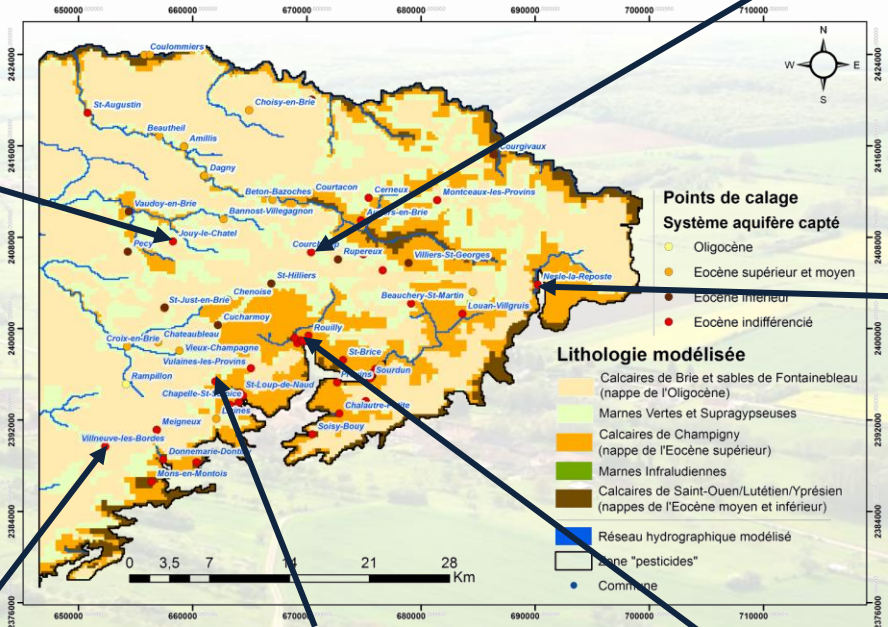


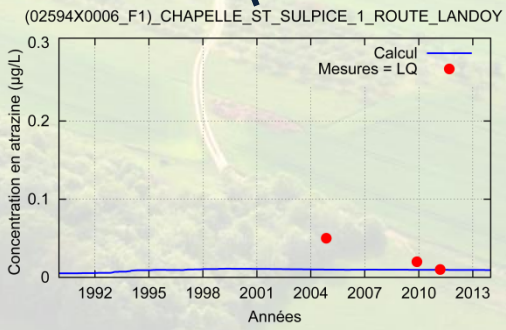
I. Modélisation exploratoire des transferts souterrains de produits phytosanitaires

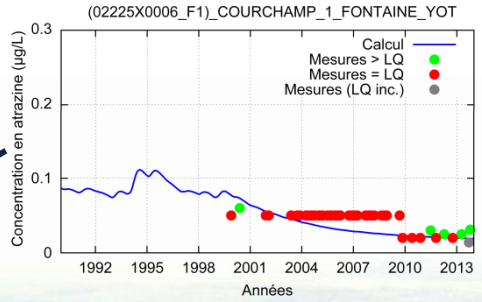
Résultats de modélisation du transfert de pesticides : ***Atrazine***

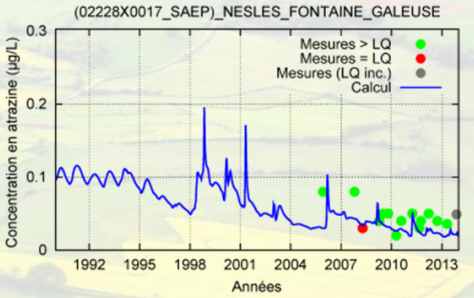


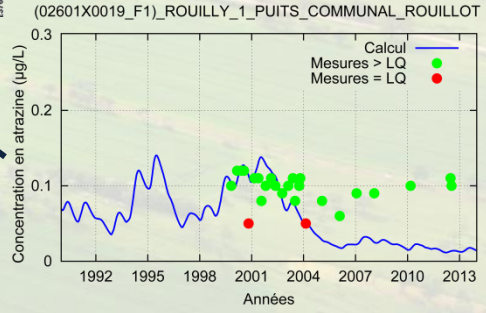












Limites et verrous actuels liés à la modélisation

- **Recul temporel restreint** sur les données d'entrée disponibles : pratiques des décennies 1970 et 80 ?

  → **Difficultés d'initialisation des deux types de modèles** :

  - **Contrainte forte imposée** sur les concentrations initiales en pesticides en nappe **impactant fortement les évolutions temporelles** simulées des concentrations (effets très marqués dans le cas de l'atrazine, moins significatif pour l'isoproturon),
  - Large imprécision des données pour **l'initialisation du stock en matière active dans les sols**.

- Différenciation entre **valeurs mesurées** et **limites de quantification**.

- **Échantillons statistiques limités** : agrégation nécessaire des enquêtes agricoles dans le temps et l'espace.

- Intégration de certaines données d'entrée (physico-chimie des **sols** par exemple) à une **échelle spatiale insuffisante**.

Contextualisation



Pratiques culturales

Climat

Apports en pesticides

Volatilisation

Ruissellement

Transfert

Sorption

Dégradation

SOL

1

Modélisation

Interfaces nappe-rivière

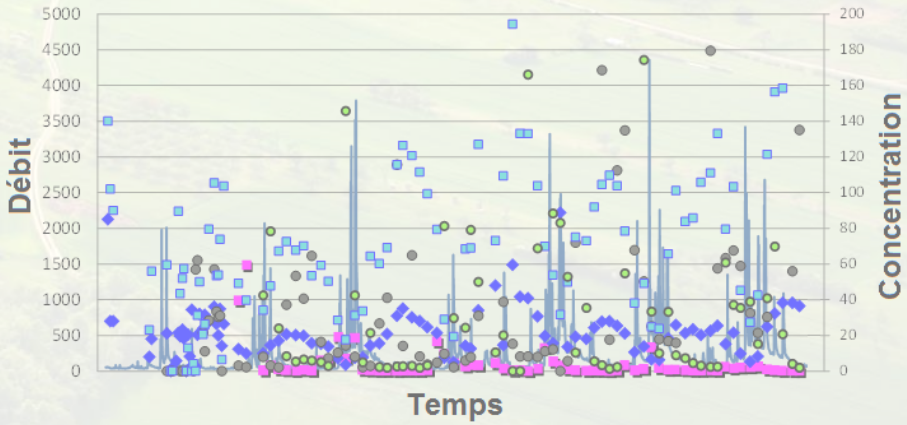
2

Analyse tendancielle

Transferts dans les nappes

AQUIFERES

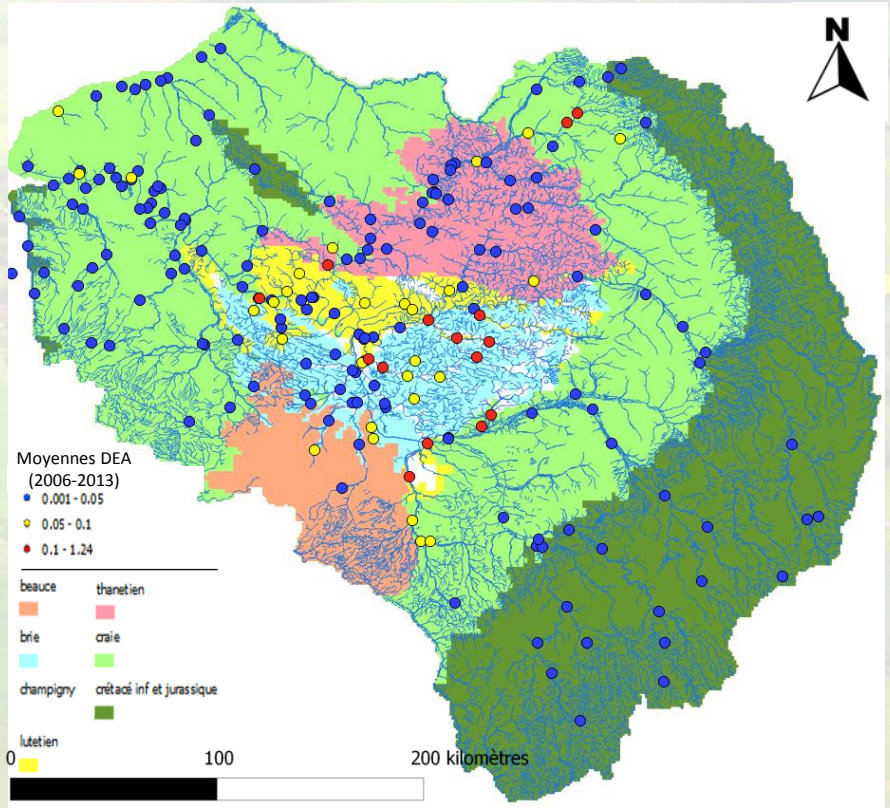
Restitution au cours d'eau



II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Objectif : Considérer l'ensemble du bassin de la Seine

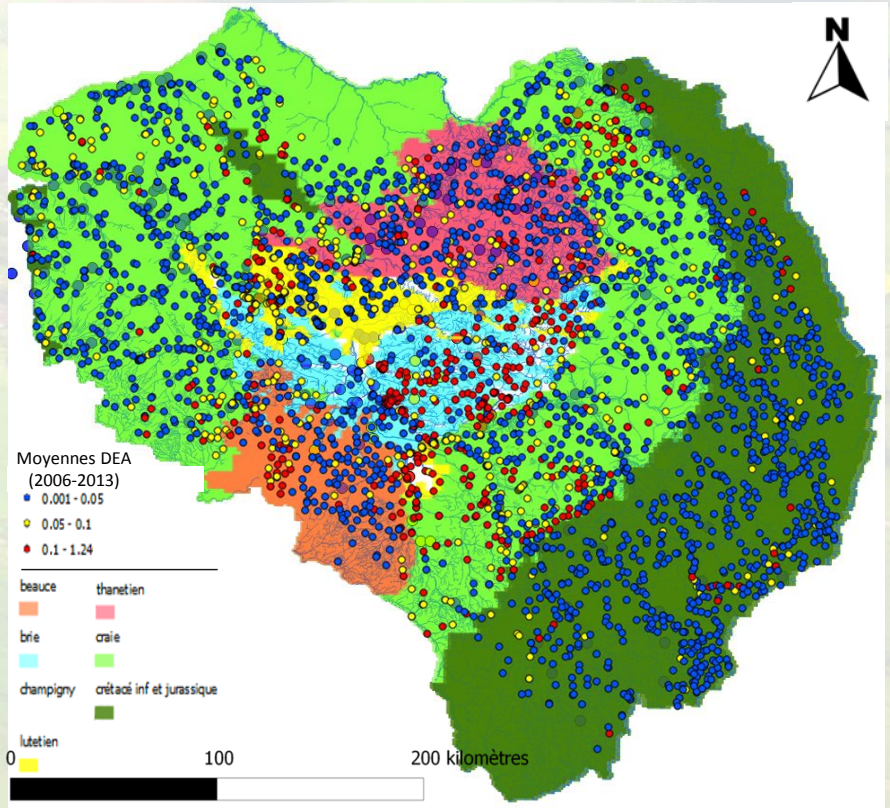
- **Pourquoi la DEA ?**
  - Métabolite de l'atrazine interdite en 2003 (donc plus de source actuelle),
  - Contamination actuelle encore préoccupante,
  - Détection dans les eaux souterraines (ESO) et de surface (ESU).
- **Les données de contamination existantes :**
  - Les données ESU de l'AESN
    1999-2013 sur 230 stations



II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Objectif : Considérer l'ensemble du bassin de la Seine

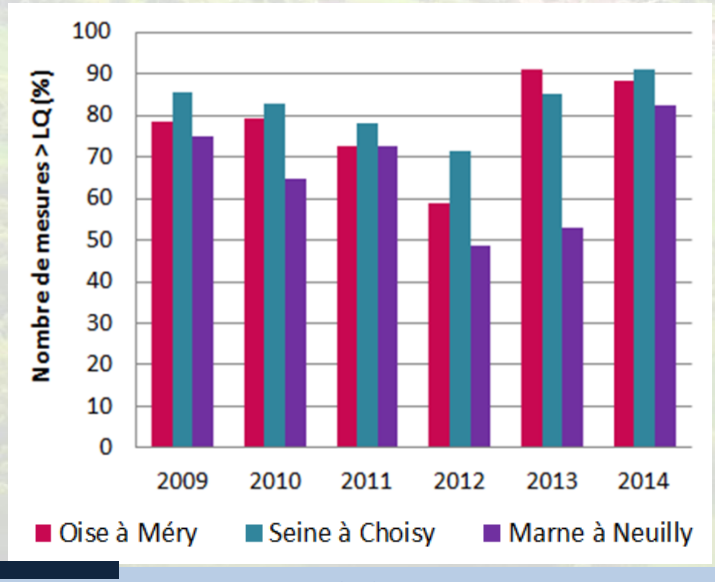
- **Pourquoi la DEA ?**
  - Métabolite de l'atrazine interdite en 2003 (donc plus de source actuelle),
  - Contamination actuelle encore préoccupante,
  - Détection dans les eaux souterraines (ESO) et de surface (ESU).
- **Les données de contamination existantes :**
  - Les données ESU de l'AESN
    1999-2013 sur 230 stations
  - Les données ESO d'ADES
    1997-2013 sur 3500 piézomètres

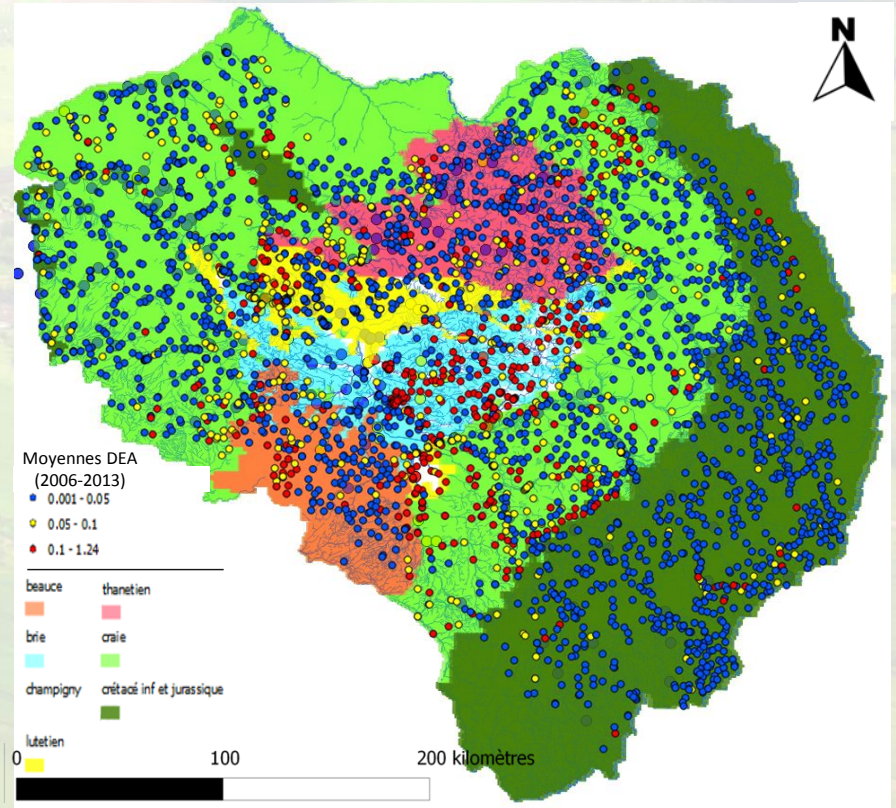


II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Objectif : Considérer l'ensemble du bassin de la Seine

- **Pourquoi la DEA ?**
  - Métabolite de l'atrazine interdite en 2003 (donc plus de source actuelle),
  - Contamination actuelle encore préoccupante,
  - Détection dans les eaux souterraines (ESO) et de surface (ESU).
- **Les données de contamination existantes :**
  - Les données ESU de l'AESN
    1999-2013 sur 230 stations
  - Les données ESO d'ADES
    1997-2013 sur 3500 piézomètres
  - Les données VEDIF aux prises d'eau
    1997-2014 sur 3 stations

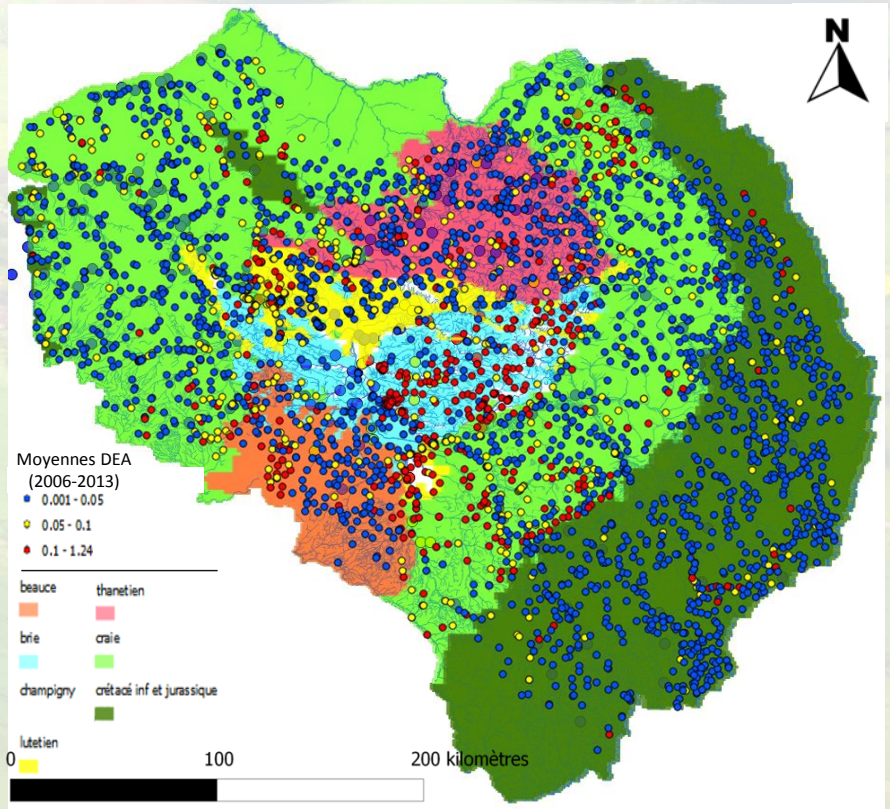




II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Objectif : Considérer l'ensemble du bassin de la Seine

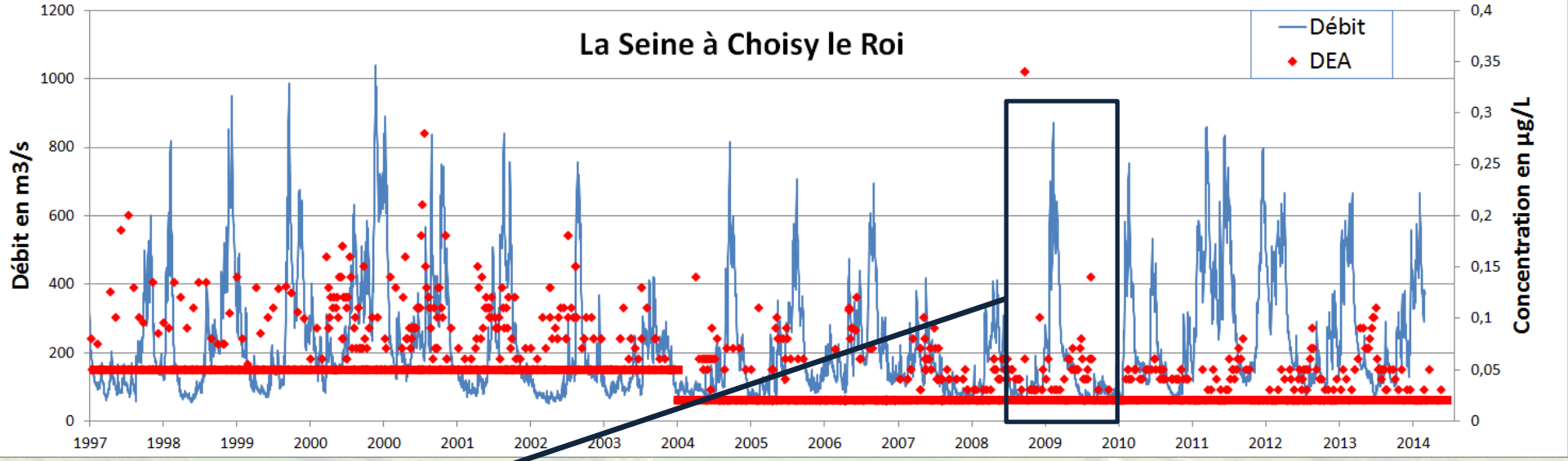
- **Pourquoi la DEA ?**
  - Métabolite de l'atrazine interdite en 2003 (donc plus de source actuelle),
  - Contamination actuelle encore préoccupante,
  - Détection dans les eaux souterraines (ESO) et de surface (ESU).
- **Les données de contamination existantes :**
  - Les données ESU de l'AESN
    1999-2013 sur 230 stations
  - Les données ESO d'ADES
    1997-2013 sur 3500 piézomètres
  - Les données VEDIF aux prises d'eau
    1997-2014 sur 3 stations
- **Traitement des données**
  - 11 Go de données
  - Extraction des données pour la DEA
    Parmi 950 paramètres (ESU)
  - Traitement cartographique
    Répartition géographique et en profondeur
  - Traitement des LQ

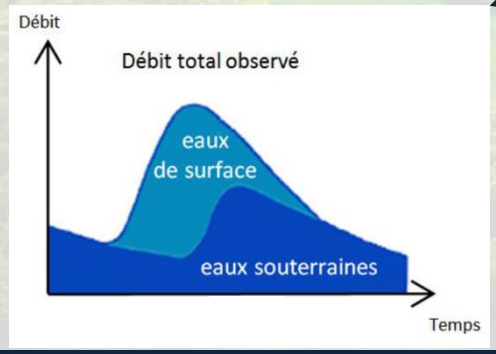


II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Démarche

- Evolution temporelle aux trois prises d'eau : Neuilly-sur-Marne, Choisy-le-Roi et Méry-sur-Oise



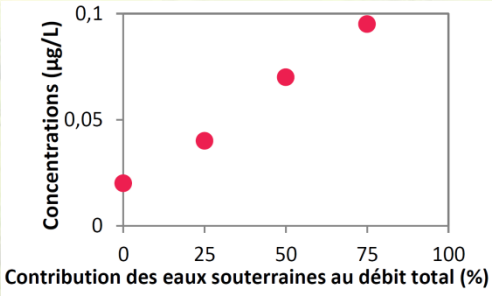


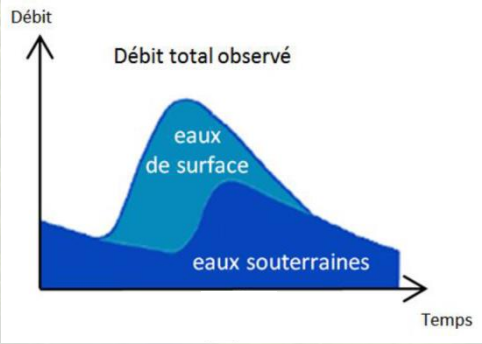
II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Démarche

- Evolution temporelle aux trois prises d'eau : Neuilly-sur-Marne, Choisy-le-Roi et Méry-sur-Oise

- Déterminer la **contribution des masses d'eau** au débit des rivières

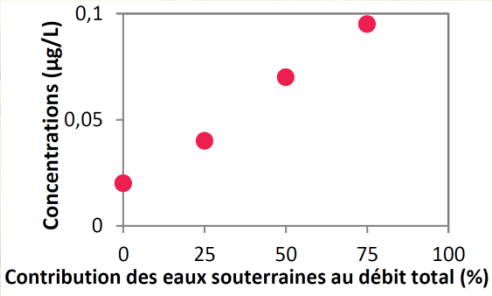


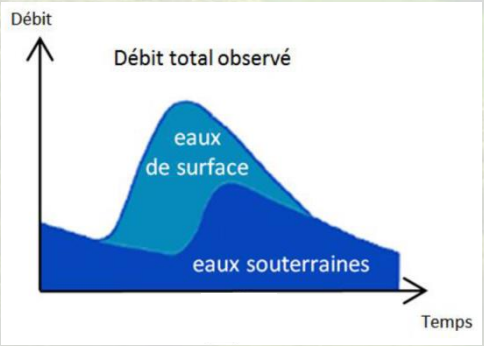


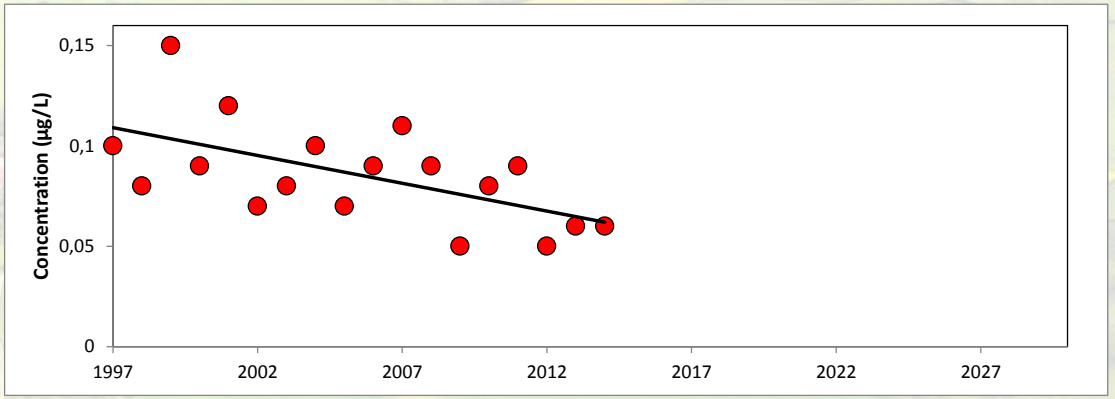
II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Démarche

- Evolution temporelle aux trois prises d'eau : Neuilly-sur-Marne, Choisy-le-Roi et Méry-sur-Oise
- Déterminer la **contribution des masses d'eau** au débit des rivières
- Vérifier l'évolution temporelle de la contamination ESO



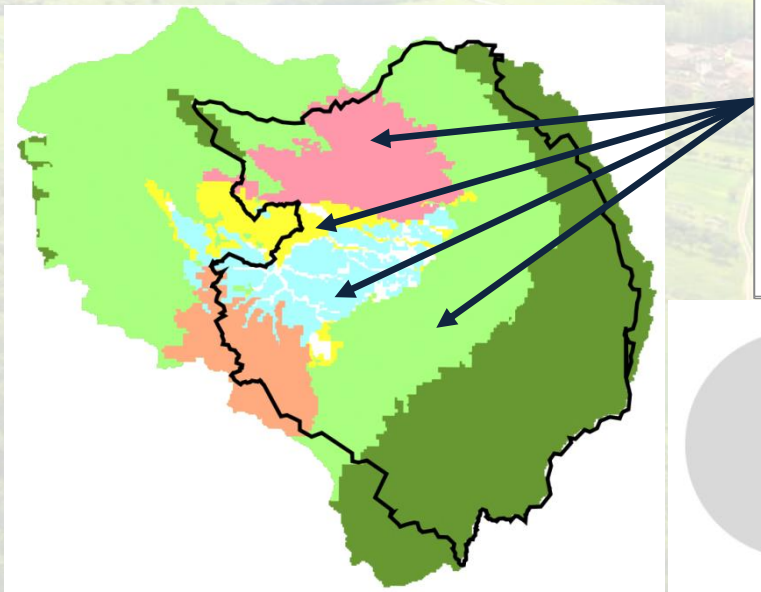


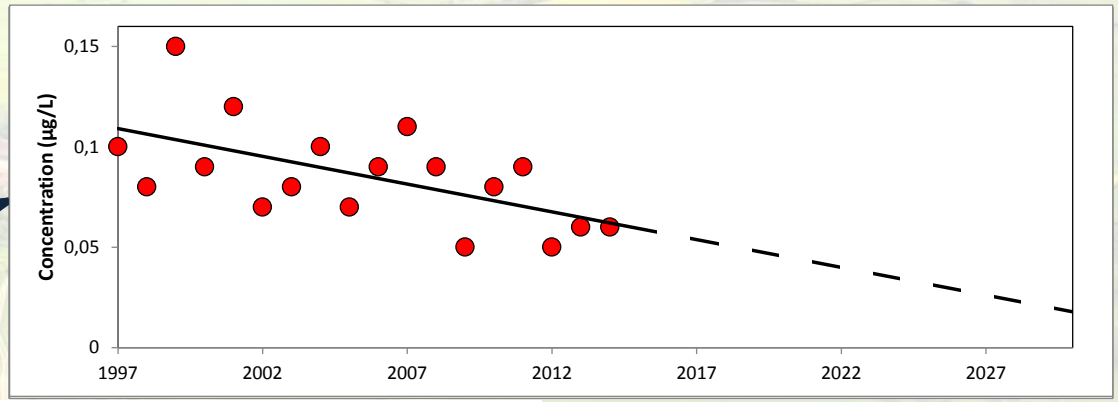


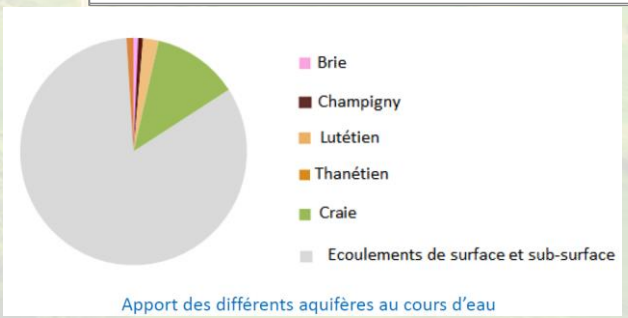
II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

Démarche

- Evolution temporelle aux trois prises d'eau : Neuilly-sur-Marne, Choisy-le-Roi et Méry-sur-Oise
- Déterminer la **contribution des masses d'eau** au débit des rivières
- Vérifier l'évolution temporelle de la contamination ESO
- Tendances prospectives des ESO et **estimation prévisionnelle** de fin de contamination





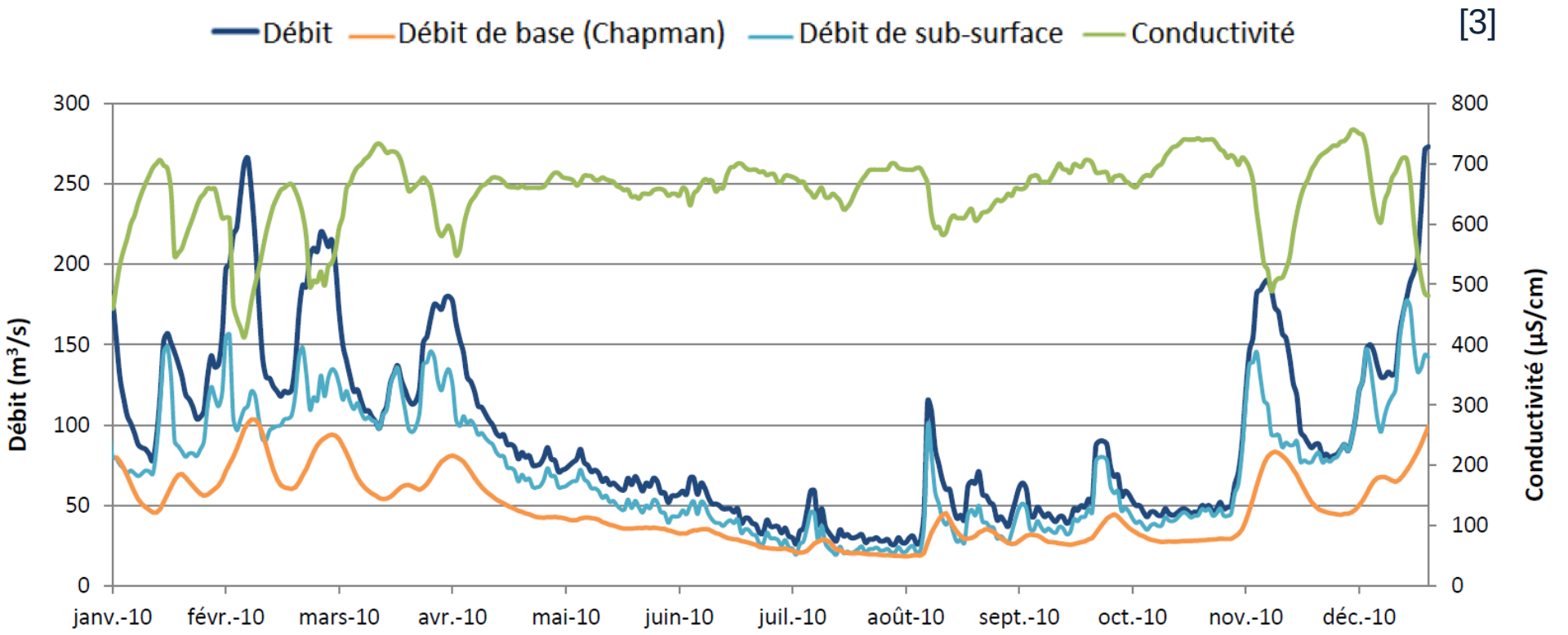


Apport des différents aquifères au cours d'eau

2030 ?

Résultats : Contribution des ESO au débit des cours d'eau

- Calcul de la contribution du débit de base au débit total

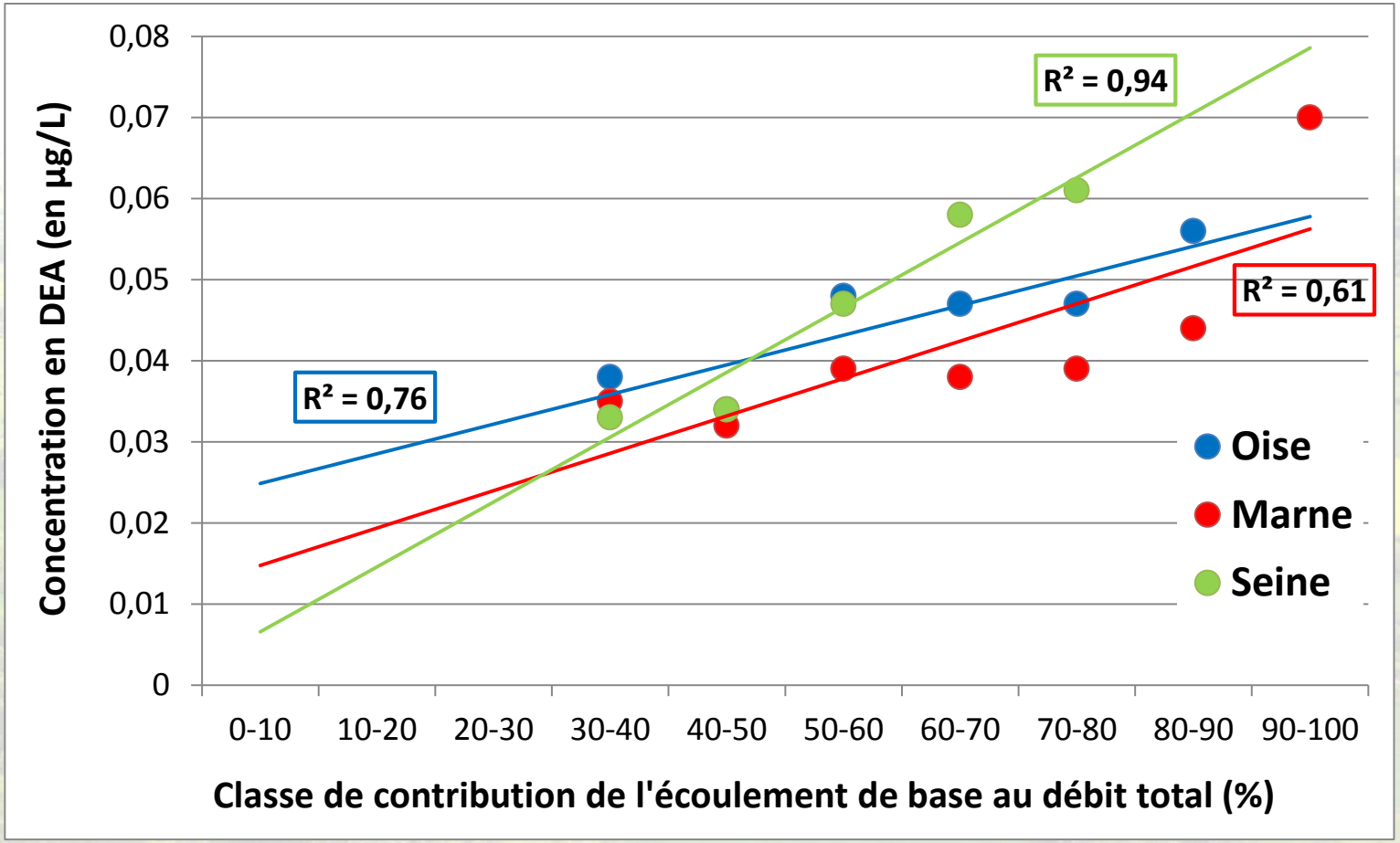


Part cumulée des différents écoulements dans la composition du débit de l'Oise (2010)

[3] [Mattei, 2016]

Résultats : Contribution des ESO à la contamination en DEA

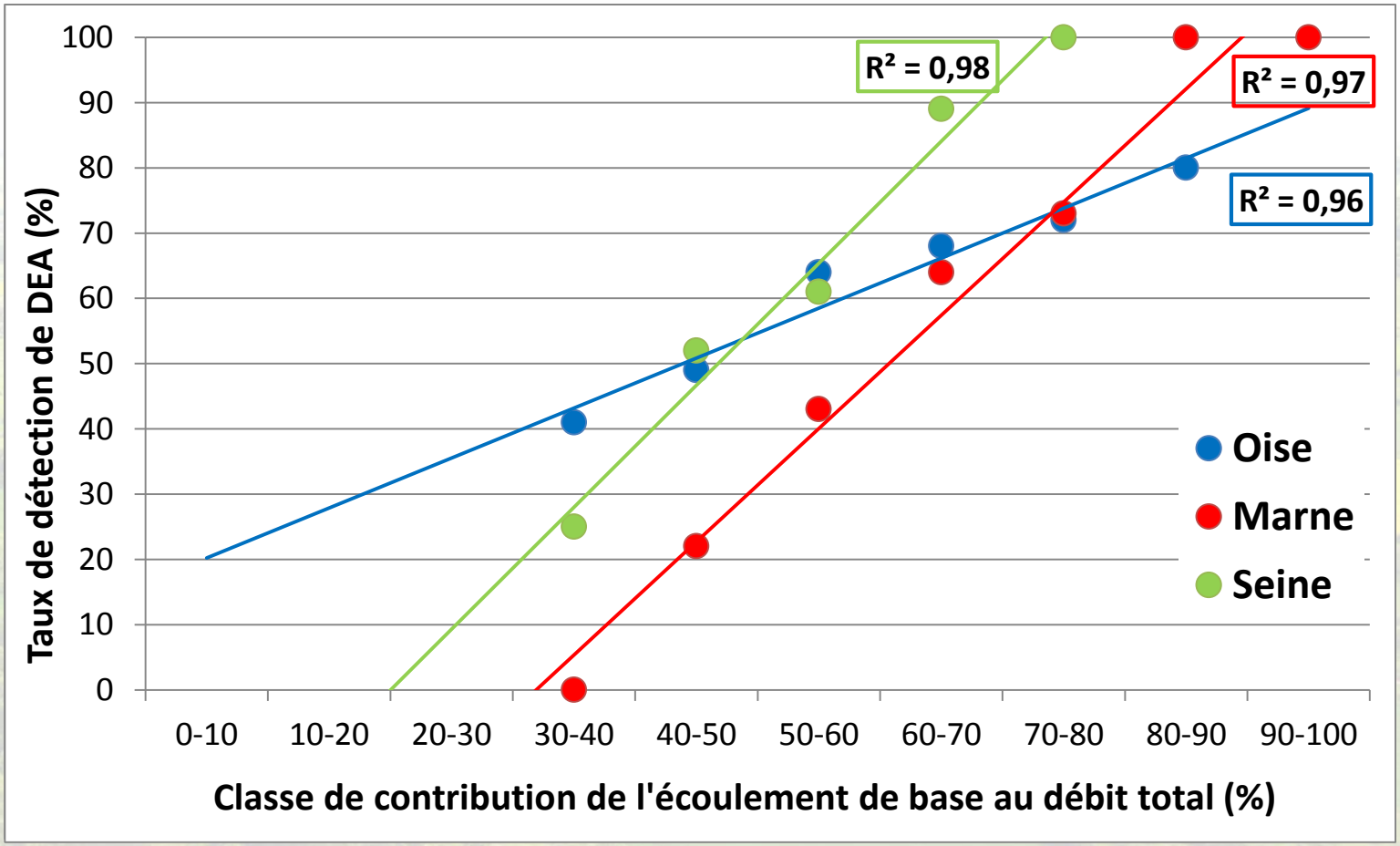
❖ Contribution de l'écoulement de base à la contamination des cours d'eau



➢ Difficulté liée aux valeurs inférieures à la limite de quantification

Résultats : Contribution des ESO à la contamination en DEA

❖ Contribution de l'écoulement de base à la contamination des cours d'eau

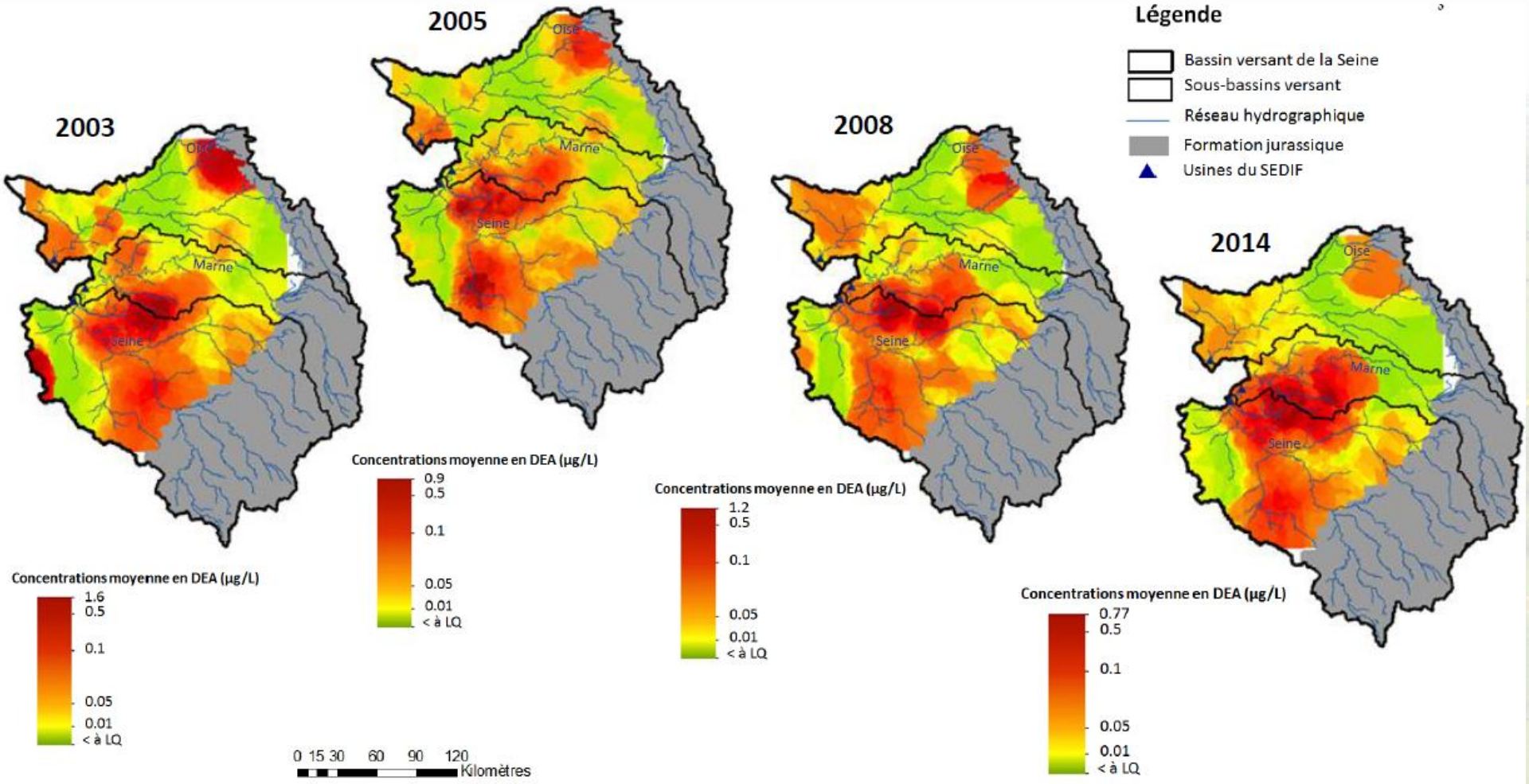


➢ Difficulté liée aux valeurs inférieures à la limite de quantification

➢ Nécessité de différentier les masses d'eau souterraines

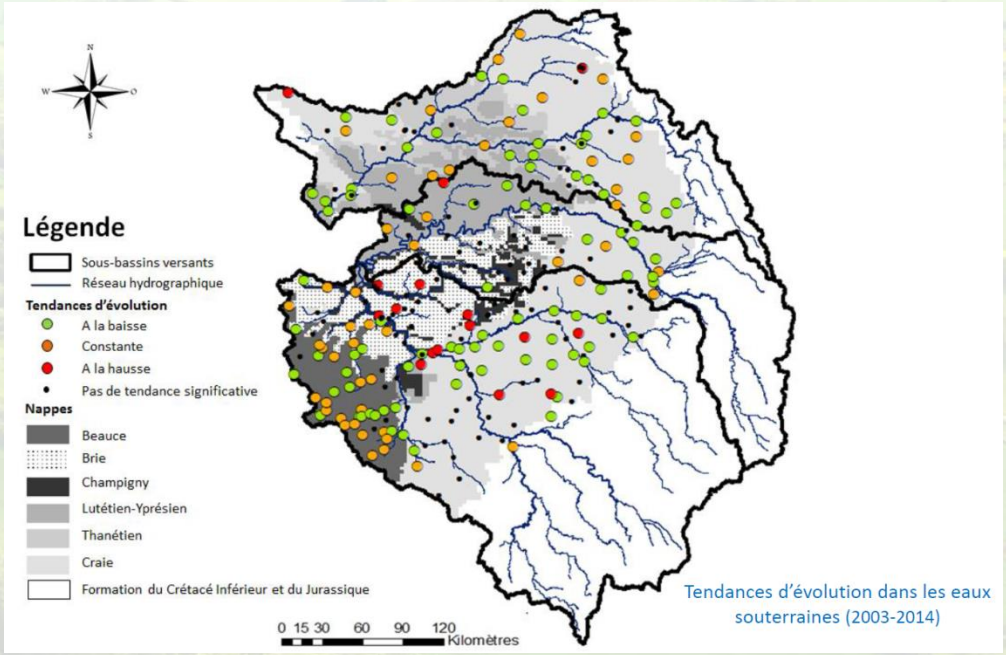
Résultats : Tendances d'évolution de la DEA dans les ESO

Tendances d'évolution de la contamination des masses d'eau souterraines



Tendances d'évolution de la contamination des masses d'eau souterraines

- Sur 1436 piézomètres (hors Crétacé inférieur et Jurassique) :
  - 270 ont plus de 10 mesures,
  - 223 sont contaminés,
  - Test de Mann-Kendall pour vérification d'une tendance monotone.



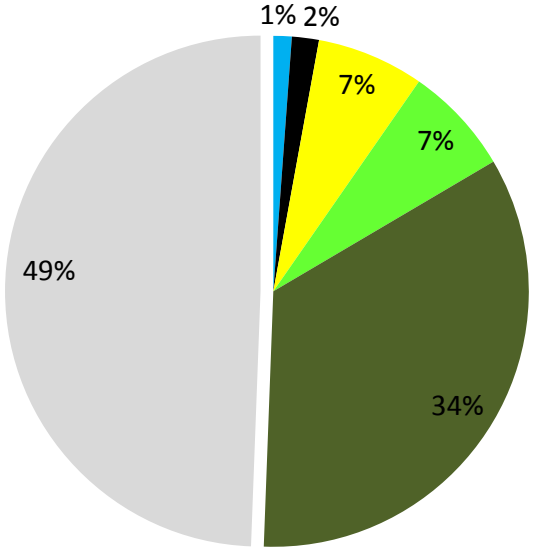
Tendances d'évolution dans les eaux souterraines (2003-2014)

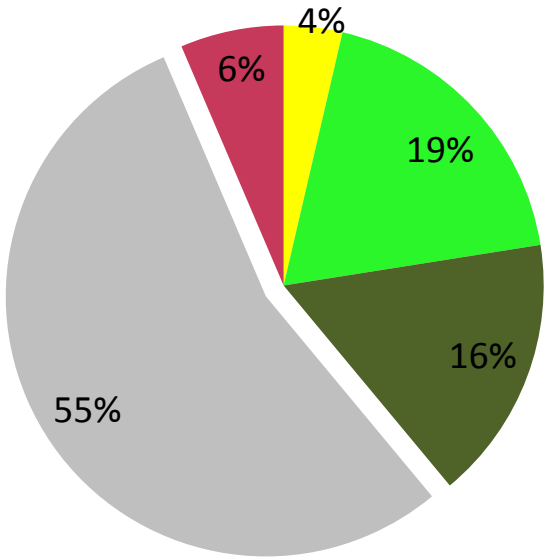
- Majoritairement, il n'y a pas d'évolution significative,
- Les évolutions à la hausse sont localisées au niveau des sites les plus contaminés.

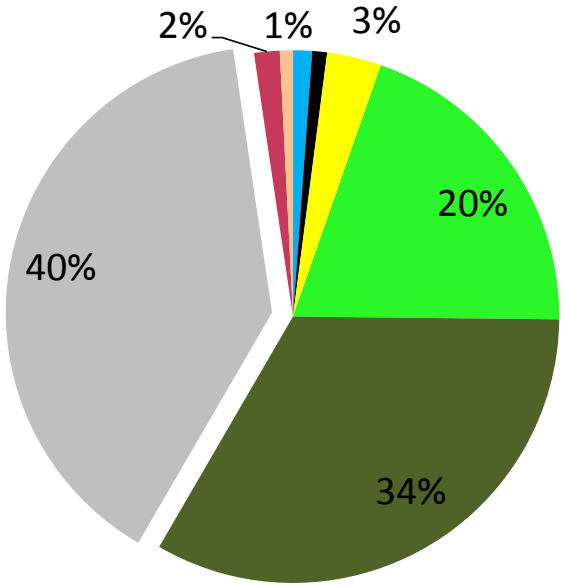
II. Perspective tendancielle de la contamination par la deséthyl-atrazine (DEA)

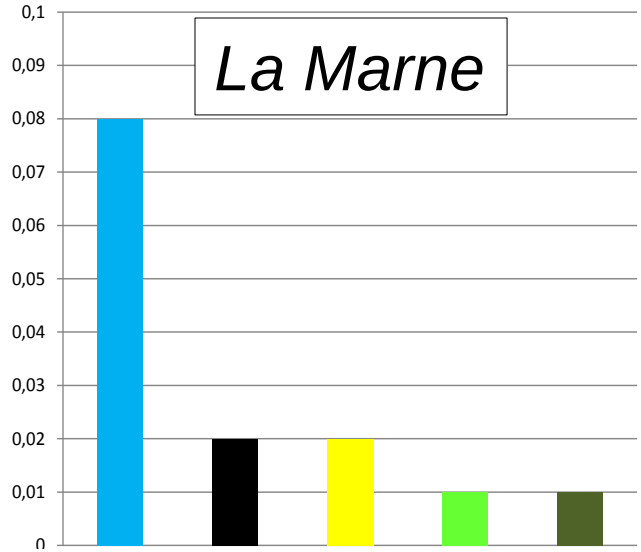
Résultats : Contribution des ESO à chaque cours d'eau

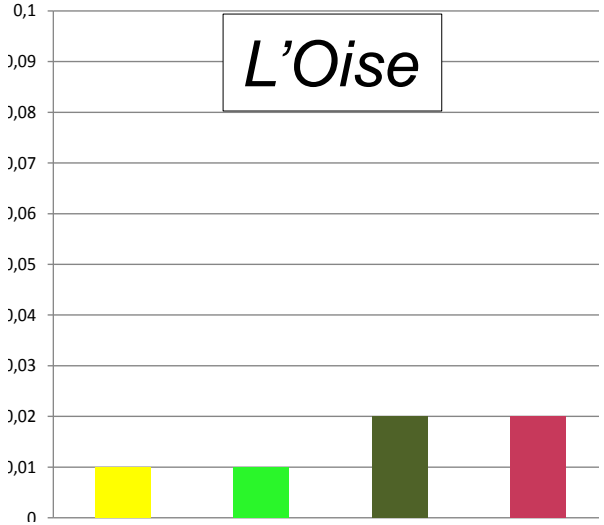
❖ Contribution moyenne des aquifères 1993-2010

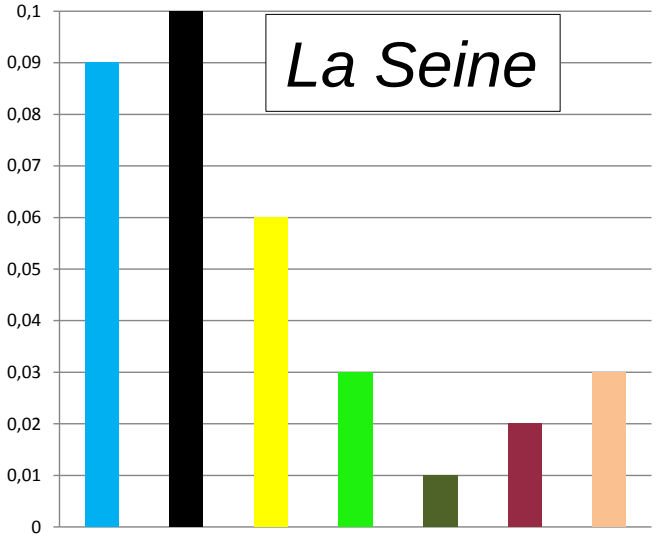












Brie Champigny Lutétien Craie Crétacé Inf et Jur. écoul. de surf et sub-surface Thanétien

Conclusions et perspectives

- Estimation en 2030 :

  DEA < LQ pour la Marne et l'Oise et 0,020 µg/L pour la Seine

  - **Forte régionalisation** de la contamination,
  - En moyenne, **diminution de 2 à 6 ng.L^{-1}.an^{-1}** des concentrations en DEA en nappes,
  - Des évolutions **à la hausse sont encore observées**.

- Modélisation délicate avec la définition des intrants phytosanitaires sur le long terme

  - Incorporation de **sources complémentaires** d'informations afin de mieux décrire les usages des pesticides,
  - Nécessité de **spatialiser plus finement** les caractéristiques physico-chimiques des sols en entrée du modèle agronomique,
  - Travail sur d'**autres molécules** ? Mais lesquelles car DEA et atrazine sont les plus souvent détectées.

- Site d'étude complémentaire envisagé :

  - Application de la démarche améliorée de modélisation sur le **bassin versant de la Vesle** (Marne), motivée par la disponibilité de la majeure partie des données nécessaires.
  - *Suivi de la contamination en rivière (**Orgeval**) et en zone sous racinaire (carrière de **St Martin le Nœud**)*

Merci pour votre attention !

Références :

(1) [Queyrel, 2014] W. Queyrel, *Modélisation du devenir des pesticides dans les sols à partir d'un modèle agronomique : Evaluation sur le long terme*, Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, 2014, 284p., Paris.

(2) [Bellier, 2013] S. Bellier, *Modélisation de la contamination nitrique de la nappe des calcaires de Champigny. Application à la protection des captages prioritaires de la fosse de Melun et de la basse vallée de l'Yerres*, Thèse de doctorat MINES ParisTech, 312p., Paris.

(3) [Mattei, 2016] A. Mattei, *Eléments de prospective de la contamination des cours d'eau d'Île-de-France par les pesticides*, Rapport de stage de Master II, Polytech Paris-Université Pierre et Marie Curie, 50p., Paris.