

# Comment évaluer l'impact cumulé des pesticides sur les milieux aquatiques ?

Présentation des travaux menés en lien avec le Conseil scientifique du Comité de bassin Rhin-Meuse pour la mise en place d'indicateurs opérationnels de suivi.

*François BIGORRE, Agence de l'Eau Rhin-Meuse*



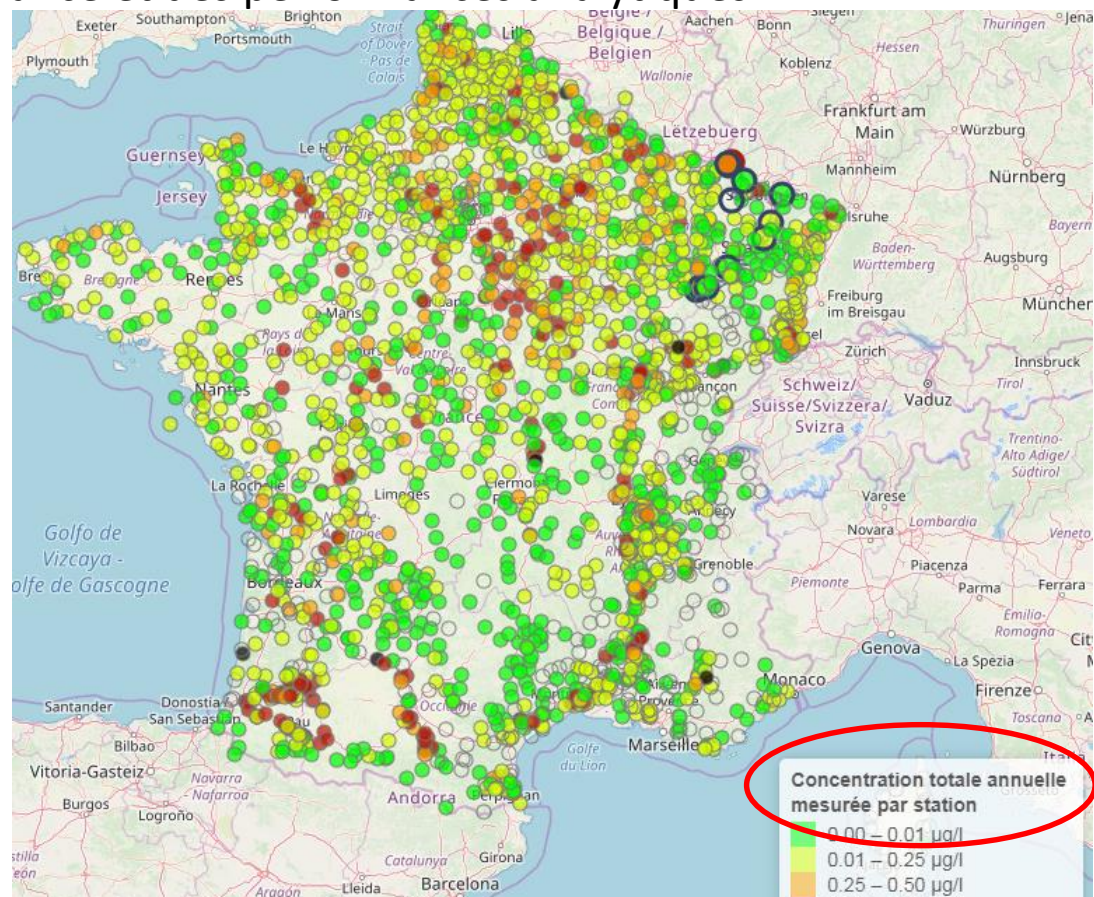
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE  
EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

# Contexte

**Les pesticides sont au cœur des enjeux pour l'eau depuis les années 90 mais il est difficile dresser un bilan sur cette période :**

- Fort renouvellement des substances utilisées.
- Forte évolution de la surveillance et des performances analytiques.
- Absence d'indicateurs fiables pour évaluer l'état de la ressource et mettre en évidence les tendances d'évolution.

Projet Phyt'eau viz, lauréat du [concours de data-visualisation sur les pesticides dans les eaux souterraines](#) organisé par le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer français en 2017.



# Les objectifs retenus pour les indicateurs pesticides

---

- Prendre en compte la diversité des substances et différencier le niveau de risque lié à la toxicité de chaque substance
- Identifier l'évolution temporelle de l'impact des pesticides sur l'état des eaux
- Déterminer et classer la part de chaque substance dans le résultat de l'indicateur
- Calculer chaque indicateur à plusieurs échelles géographiques
- Evaluer la robustesse des résultats, notamment vis-à-vis des contraintes liées à la variabilité temporelle, géographique et à la densité de surveillance (nombre d'analyses réalisées et diversité des substances suivies)
- Rester cohérent avec les méthodes et outils existants, notamment ceux de portée réglementaire

# Les méthodes d'évaluation actuelles de l'état des eaux vis-à-vis des pesticides

## Normes de qualité environnementales (NQE) pour l'état chimique

→ Déterminer pour chaque molécule les valeurs seuils pour la moyenne (toxicité chronique) et pour le maximum (toxicité aiguë) à ne pas dépasser pour protéger les organismes aquatiques et la santé humaine

$NQE = \text{Min}(VS_{\text{org. aquatiques}}, VS_{\text{org. benthiques}}, VS_{\text{empoisonnement secondaire des prédateurs}}, VS_{\text{santé humaine /pêche}}, VS_{\text{santé humaine /eau potable}})$

Usage autorisé

Usage interdit

Achlore, Atrazine, Chlorfenvinphos,  
Chlorpyrifos, Aldrine, Dieldrine,  
Endrine, Isodrine, DDT, Diuron,  
Endosulfan, Isoproturon, Trifluraline,  
Dicofol, Quinoxifène, Aclonifène,  
Bifénox, Cybutrine, Cyperméthrine,  
Dichlorvos, heptachlore, Terbutryne

# Les méthodes d'évaluation actuelles de l'état des eaux vis-à-vis des pesticides

## Normes de qualité environnementales (NQE) pour l'état chimique

→ Déterminer pour chaque molécule les valeurs seuils pour la moyenne (toxicité chronique) et pour le maximum (toxicité aiguë) à ne pas dépasser pour protéger les organismes aquatiques et la santé humaine

$NQE = \text{Min}(VS_{\text{org. aquatiques}}, VS_{\text{org. benthiques}}, VS_{\text{empoisonnement secondaire des prédateurs}}, VS_{\text{santé humaine /pêche}}, VS_{\text{santé humaine /eau potable}})$

## NQE pour l'état écologique

→ Même principe mais sans prise en compte des seuils liés à la santé humaine et uniquement sur la toxicité chronique

### État écologique

Chlortoluron, Oxadiazon, Linuron, 2,4 D, 2,4 MCPA  
, Métazechlore, **Aminotriazole**, Nicosulfuron, AMPA, Glyphosate,  
Diflufénicanil, Tébuconazole

Bentazone, Cyprodinil, Imidaclopride, Iprodione, Azoxustrobine, Boscalid,  
Métaldéhyde, Chloprophame, Linuron, Thiabendazole, Chlordécone,  
Pendiméthaline

Usage autorisé

Usage interdit

# Les méthodes d'évaluation actuelles de l'état des eaux vis-à-vis des pesticides

## Normes de qualité environnementales (NQE) pour l'état chimique

→ Déterminer pour chaque molécule les valeurs seuils pour la moyenne (toxicité chronique) et pour le maximum (toxicité aiguë) à ne pas dépasser pour protéger les organismes aquatiques et la santé humaine

$NQE = \text{Min}(VS_{\text{org. aquatiques}}, VS_{\text{org. benthiques}}, VS_{\text{empoisonnement secondaire des prédateurs}}, VS_{\text{santé humaine /pêche}}, VS_{\text{santé humaine /eau potable}})$

## NQE pour l'état écologique

→ Même principe mais sans prise en compte des seuils liés à la santé humaine et uniquement sur la toxicité chronique

## Normes « eau destinées à la consommation humaine »

→ Valeurs seuils réglementaires pour la mise en distribution (0,1 µg/l et 0,5 pour la somme)

→ Valeurs sanitaires admissibles pour déterminer le risque pour la santé humaine

**Diagnostic de type bon ou mauvais état pour chaque molécule, pas d'approche intégratrice et pas d'indice quantitatif**



# Transformations des données d'analyse en indices toxiques

## Seuil toxique santé humaine

Valeur sanitaire maximale (Vmax) pour l'eau potable ( *Seuils disponibles pour 144 substances, source Ministère de la Santé*)

## Seuil toxique organismes aquatiques

NQE réglementaire

ou Valeur Guide environnementale (VGE)

ou Predicted Non Effect Concentration (PNEC)

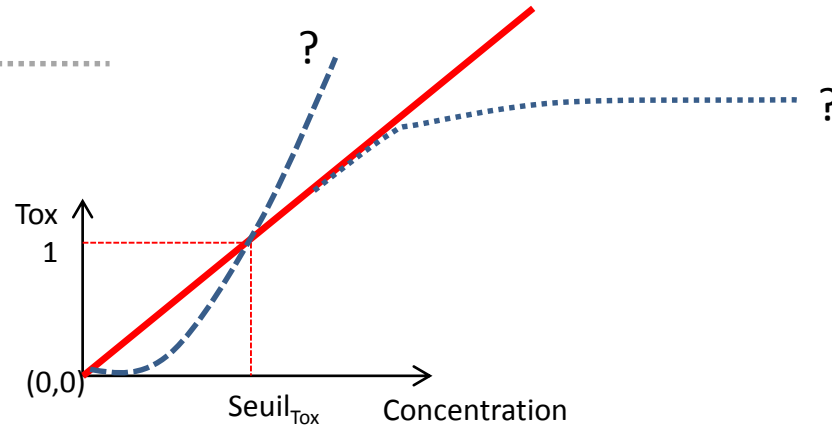
( *Seuils disponibles pour 373 substances, source CGEDD*)

Libelle	Vmax	NQE_ECO
Dichlorvos	0,24	0,0006
Diflufenicanil	600	0,01
Métazachlore	240	0,019
Cyprodinil	90	0,026
Trifluraline	22	0,03
Chlorpyriphos-éthyl	30	0,033
Nicosulfuron	1200	0,035
Terbutryne	3	0,065
Aminotriazole	3	0,08
Oxadiazon	10,8	0,09
Boscalid	120	11,6
Métaldéhyde	60	60,6
Bentazone	300	70
AMPA	900	452
Chlorfenvinphos	1,5	0,1
Chlortoluron	30	0,1
...		

# Transformations des données d'analyse en indices toxiques

## Hypothèses

1. 
$$\text{Tox} = \frac{[\text{Concentration}]}{\text{Seuil}_{\text{Tox}}}$$



2. Additivité des toxicités (Deener 2000, ECETOC 2001)

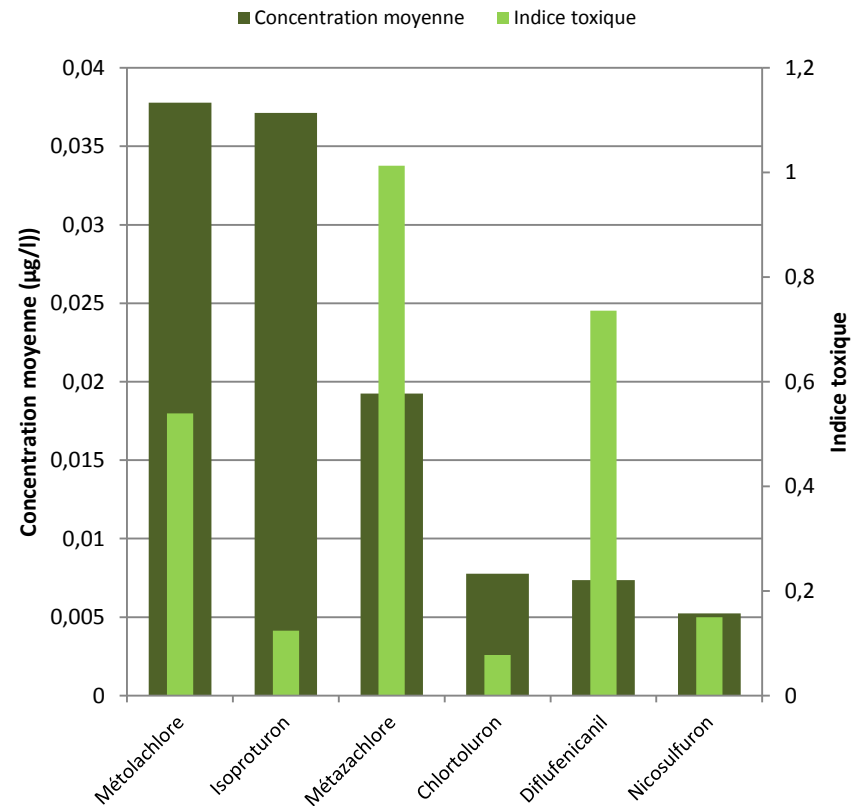
$$\text{Indice}_{\text{tox}} = \frac{[\text{Concentration subst a}]}{\text{Seuil}_{\text{Tox}}^a} + \frac{[\text{Concentration subst b}]}{\text{Seuil}_{\text{Tox}}^b} + \frac{[\text{Concentration subst c}]}{\text{Seuil}_{\text{Tox}}^c}$$



# Transformation des données d'analyse en indices toxiques

- Principe de la méthode, transformation des concentrations en indices toxiques  
Pour chaque prélèvement : [substance a]/[TOX a] ; [substance b]/[TOX b] ;  
[substance c]/[TOX c] + ...

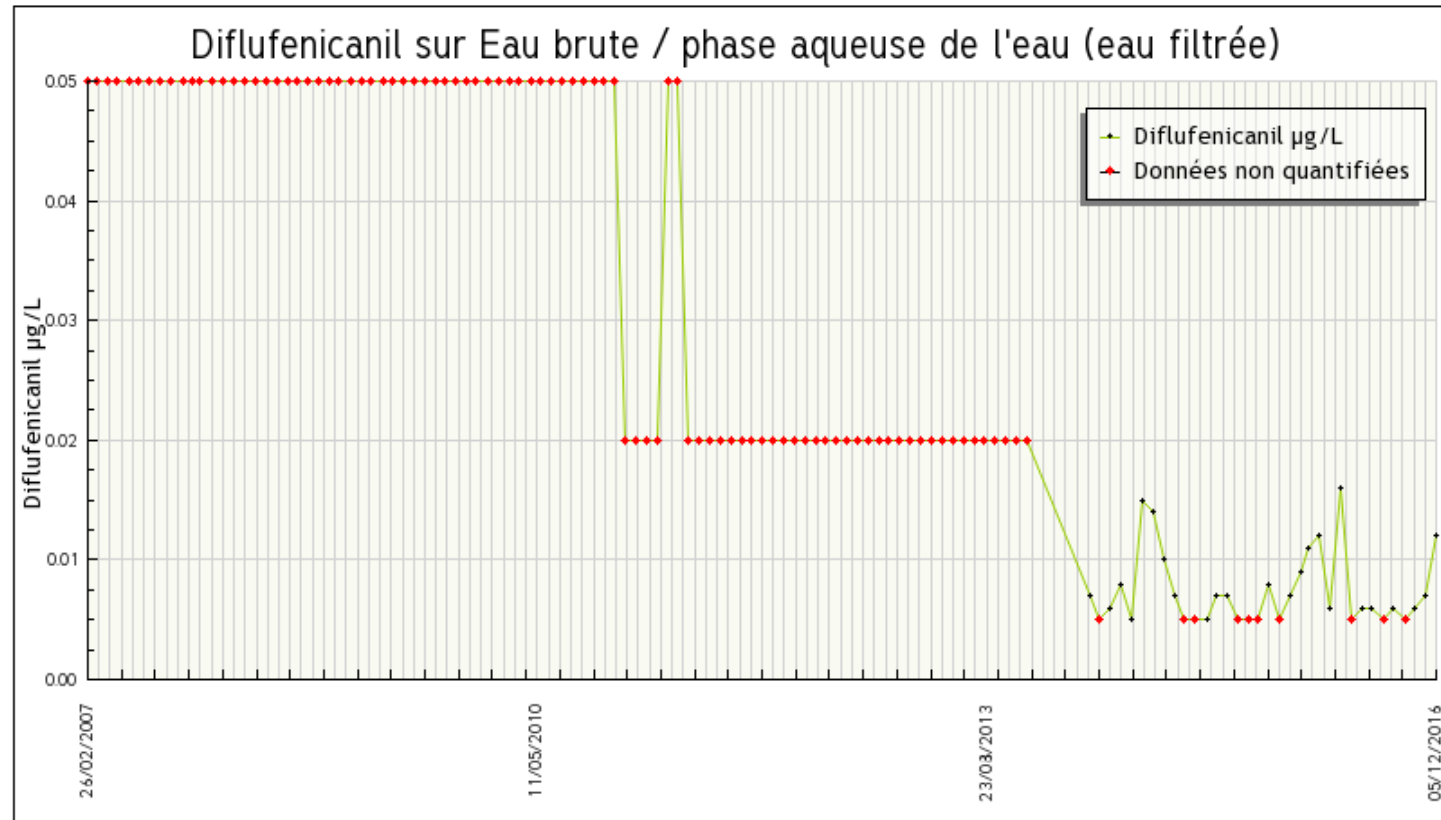
→ Cette transformation créé des indices sans dimension (on divise une concentration par une concentration) qui peuvent être facilement manipulés et comparés



# Prise en compte des variations de performances analytiques

## Des seuils de quantification très variables dans le temps

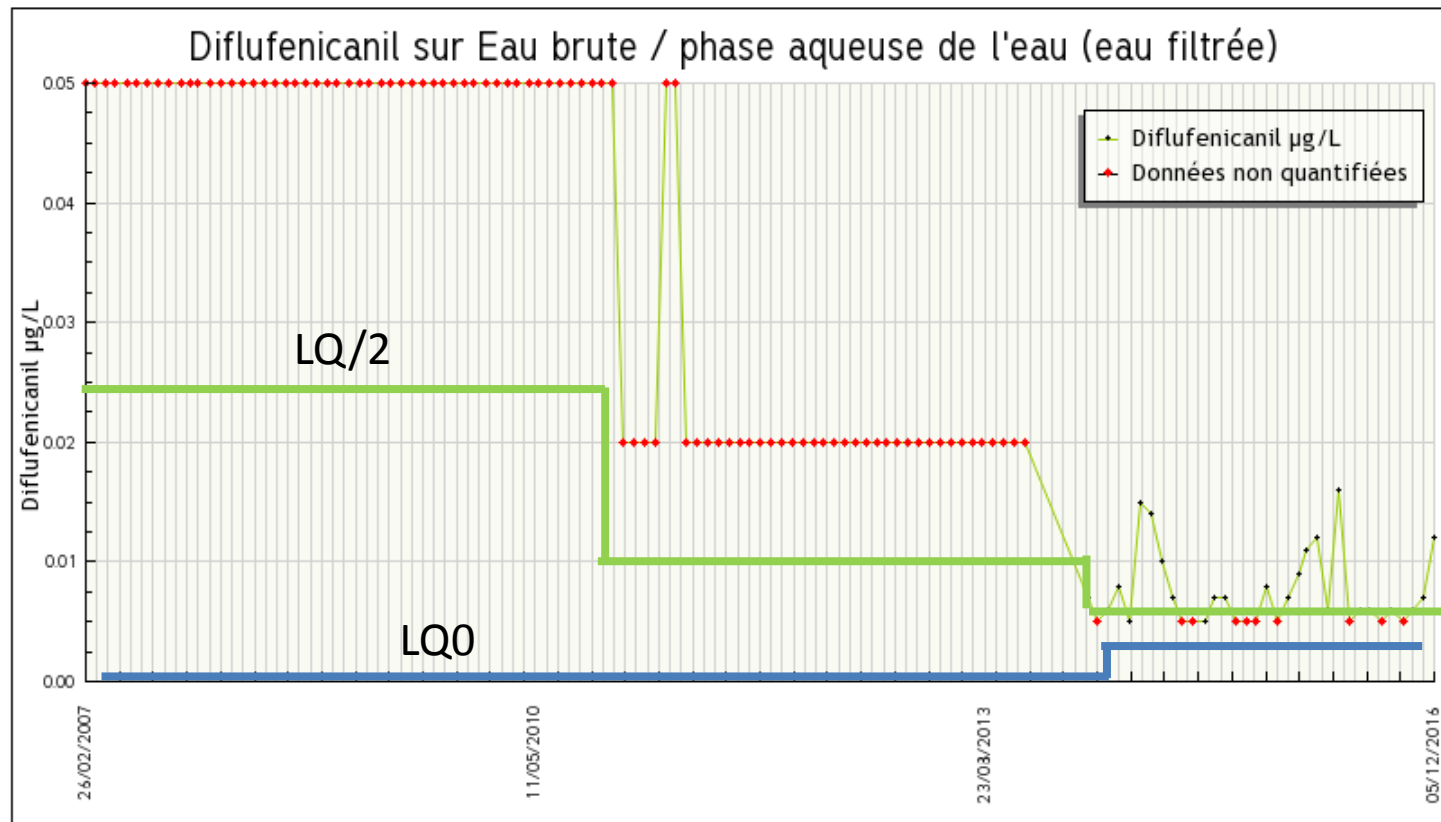
**Exemple** : Série sans tendance identifiable avec 3 seuils de quantification successifs : 0,05 puis 0,02 et enfin 0,005µg/l



# Prise en compte des variations de performances analytiques

Substitution des analyses non quantifiées par zéro (LQ0) → création d'une tendance artificielle à la hausse

Substitution des analyses non quantifiées par LQ/2 → création d'une tendance artificielle à la baisse

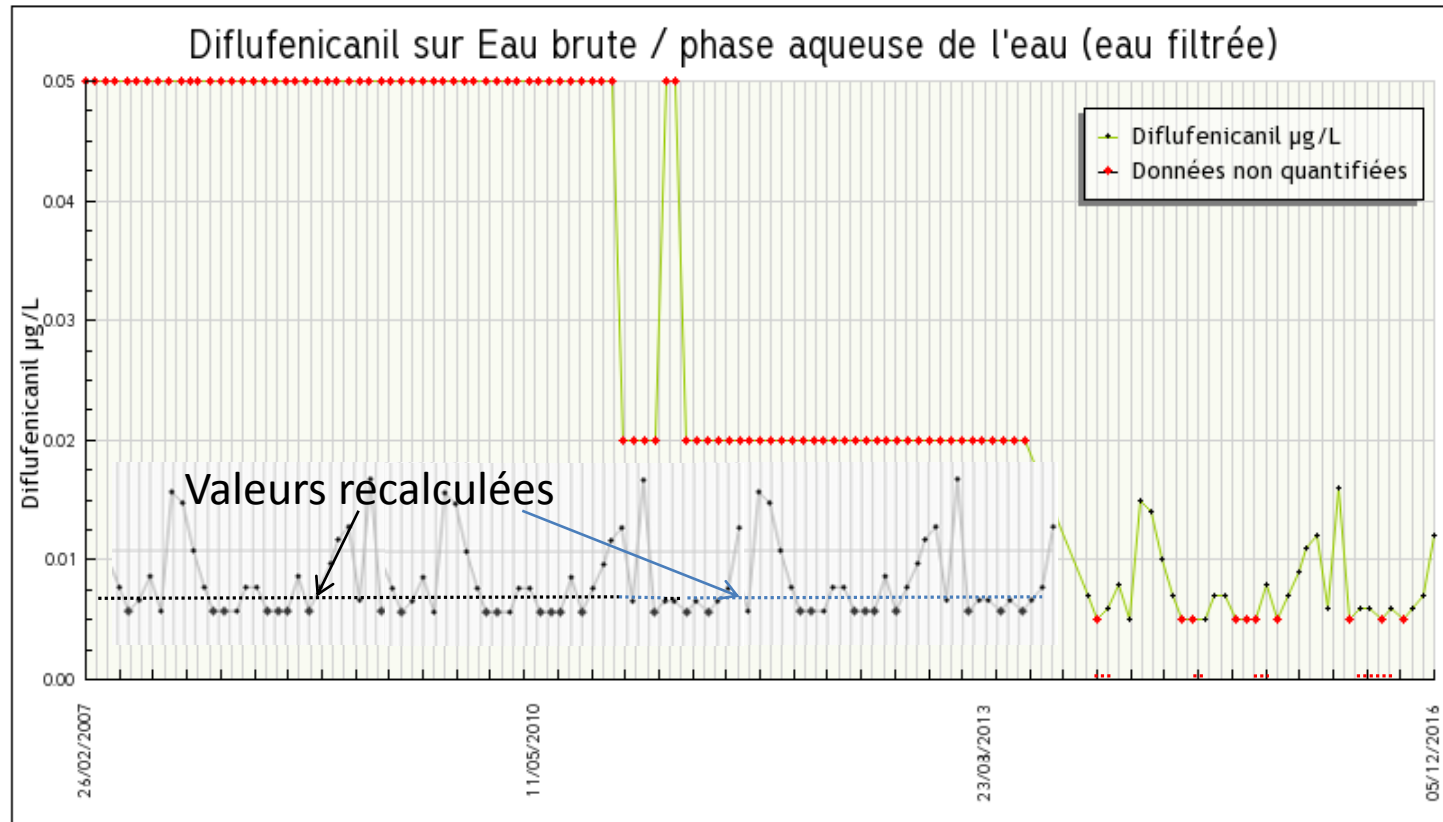


# Prise en compte des variations de performances analytiques

Solution adoptée : Utilisation des données de la période avec la LQ la plus basse pour recréer des valeurs artificielles à affecter aux données situées sous la LQ des autres périodes.

*Avantage : on ne créé pas de tendance artificielle*

*Inconvénient : les tendances réelles seront atténuées*

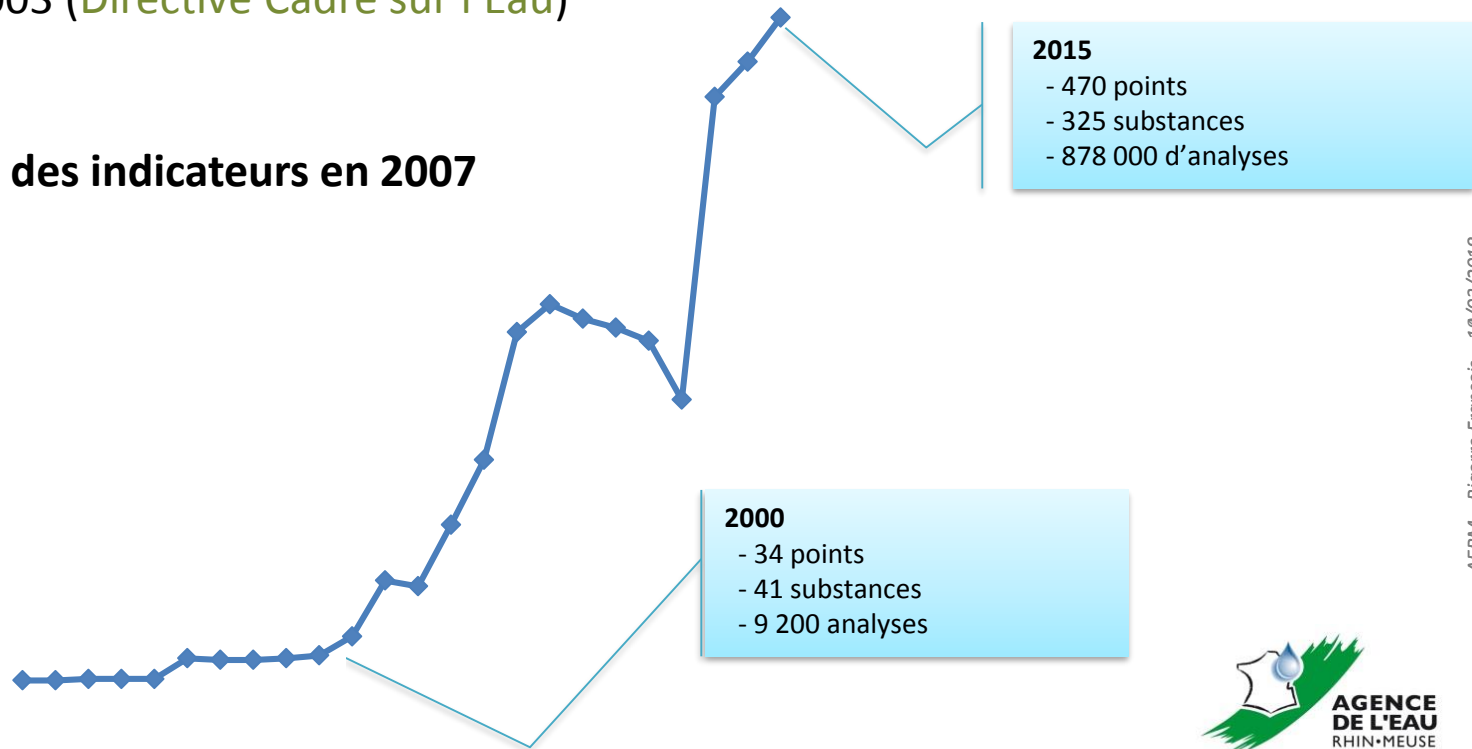


A réfléchir pour le futur, des méthodes statistiques plus performantes existent (ex : **Statistics for Censored Environmental Data** by Dennis R. Helsel Wiley 2012)

# Date d'initialisation des indicateurs

- Une surveillance très ponctuelle jusqu'en 2000
- Une augmentation exponentielle du suivi à partir de 2003 (**Directive Cadre sur l'Eau**)

→ Initialisation des indicateurs en 2007



# Identification des performances analytiques insuffisantes

- ❑ Recherche des molécules suivies avec un seuil de quantification trop élevé en regard du seuil de toxicité

→ Les données relatives à ces molécules sont peu fiables et ne seront pas incluses dans tous les traitements (risque de bruit de fond trop important)

Molécule	NQE en µg/l	Seuil de quantification	LQ / NQE	Fréquence de quantification
Heptachlore époxyde endo trans	2,1E-07	0,005	23 810	0,00%
Somme Heptachlore époxyde cis/trans	2,1E-07	0,005	23 810	0,01%
Heptachlore époxyde exo cis	2,1E-07	0,005	23 810	0,01%
Bifenthrine	0,000019	0,02	1 053	0,01%
Heptachlore	2,1E-07	0,00003	143	0,85%
Ométhoate	0,00084	0,1	119	0,02%
OXYFLUORFENE	0,00018	0,02	111	0,29%
Lambda-cyhalothrine	0,00019	0,02	105	0,00%
Fenoxycarbe	0,0002	0,02	100	0,01%
Paraquat	0,00023	0,02	87	0,28%
Cyperméthrine	0,00008	0,005	63	0,15%
Téflutrine	0,000397	0,02	50	0,00%
Deltaméthrine	0,0001	0,005	50	0,46%
Fipronil sulfone	0,00077	0,03	39	0
Dicofol	0,0013	0,02	15	0,15%
Dinoterbe	0,003	0,03	10	0,03%

# Exclusion des paramètres disposant d'un suivi trop hétérogène ou trop faible

- ❑ Identification des paramètres suivis sur un nombre de stations <30
  - ❑ Identification des paramètres avec un nombre de données invalidées >25%
- Ces données ne seront pas exploitées pour l'analyse des tendances



# Complétude des jeux de données et confiance sur la valeur des résultats

- ❑ Découpage du bassin en 26 sous-bassins homogènes vis-à-vis de l'occupation des sols et des pratiques agricoles
- ❑ Calcul d'un indice toxique par paramètre à l'échelle du bassin et du poids de chaque paramètre dans le résultat de l'indice global (indice global = somme des indices par paramètre) par période de 3 ans glissantes

→ Ces données sont ensuite exploitées pour déterminer le niveau de représentativité des données disponibles pour chaque site de surveillance. Seuls les sites disposant de données représentant au moins 75% de l'information attendue dans leur sous-bassin seront retenus pour le calcul des indicateurs



# Complétude des jeux de données et confiance sur la valeur des résultats

Exemple pour 2 sites de surveillance du bassin de la Nied

Paramètre	Poids du paramètre dans l'indice « bassin Nied »	Poids cumulé dans l'indice « bassin Nied »	Le paramètre est-il surveillé ?	
			La Nied allemande à Guinglange	L'Ellbach à Boulay
Thiafluamide	31%	31%	oui	non
Métazachlore	27%	58%	oui	oui
Isoproturon	16%	79%	oui	oui
Diflufenicanil	12%	84%	oui	oui
Dimethenamide	3%	87%	oui	oui
Aminotriazole	2%	88%	oui	oui
Métolachlore	2%	89%	oui	oui
Metazachlor sulfonic acid	1%	89%	oui	oui
Tébutame	1%	90%	oui	oui
Terbutylazine	1%	91%	oui	non
2,4-MCPA	1%	91%	oui	non
Nicosulfuron	0%	92%	oui	non
Metazachlor oxalic acid	0%	92%	oui	oui
213 autres paramètres	8%	100%	Oui pour 221 paramètres	Oui pour 115 paramètres
<b>Total</b>	-	100%	<b>99,99%</b>	<b>66%</b>

# Calcul des indices

---

## ❑ Calcul de trois indices :

- ❑ Indice « *état écologique* » avec les NQE état écologique ou équivalent
  - ❑ Indice « *risque pour la santé humaine lié à la consommation d'eau* » avec les Vmax définies par l'ANSES
  - ❑ Indice « *qualité de la ressource pour la production d'eau potable sans traitement* » avec les seuils réglementaires pour la distribution d'eau potable
- ❑ Pour chaque indice, calcul d'une moyenne annuelle et trisannuelle des indices par prélèvement pour chaque station (indice par paramètre et indice global).

# Indicateur pesticides, éléments méthodologique

## □ Evaluation des tendances

1 - ) Calcul de l'indice sur une période de référence n

2 - ) Calcul d'une tendance n -> n+1 sur un jeu de données identiques (mêmes stations même paramètres) :  $Indice\ n+1 = indice\ n + tendance\ n \rightarrow n+1$

$n \rightarrow n+1$      $n+1 \rightarrow n+2$

Site de surveillance	substance	année n	année n+1	année n+2	année n+3
Site 1	Métazachlore	0,0015342	0,0004397	0,0010409	0,0015007
Site 1	Dichlorvos			0,0017266	0,0006109
Site 1	Diflufenicanil	0,0019004	0,0007184	0,0005317	0,0016619
Site 1	Métazachlore	0,0016256	0,0006697	0,0010570	0,0015471
Site 1	Cyprodinil	0,0016736	0,0000626		
Site 1	Trifluraline	0,0014080	0,0010513	0,0008944	0,0008676
Site 1	Chlorpyriphos-éthyl		0,0016075	0,0006736	0,0011540
Site 1	Nicosulfuron	0,0010702	0,0012422	0,0003362	
<b>Tendance Site 1</b>		<b>100</b>	<b>106</b>	<b>111</b>	<b>103</b>

( Méthodologie appliquée par le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) pour le suivi du plan Ecophyto)

# Synthèse et présentation des résultats

---

**Mise en place de règles basées sur les paramètres les plus déclassants et leur nombre  
(Approche classique, lisible et compréhensible par l'utilisateur)**

**Exemple de règle adopté pour la détermination des classes de qualité de l'indicateur  
état écologique :**

Classe 1 (très bonne) : aucune substance quantifiée\* à plus de 20 % de son seuil

Classe 2 (bonne) : aucune substance quantifiée\* à plus de 50 % de son seuil

Classe 3 (moyenne) : aucune substance quantifiée\* à plus de 50 % de son seuil et  
somme inférieure à 100 %

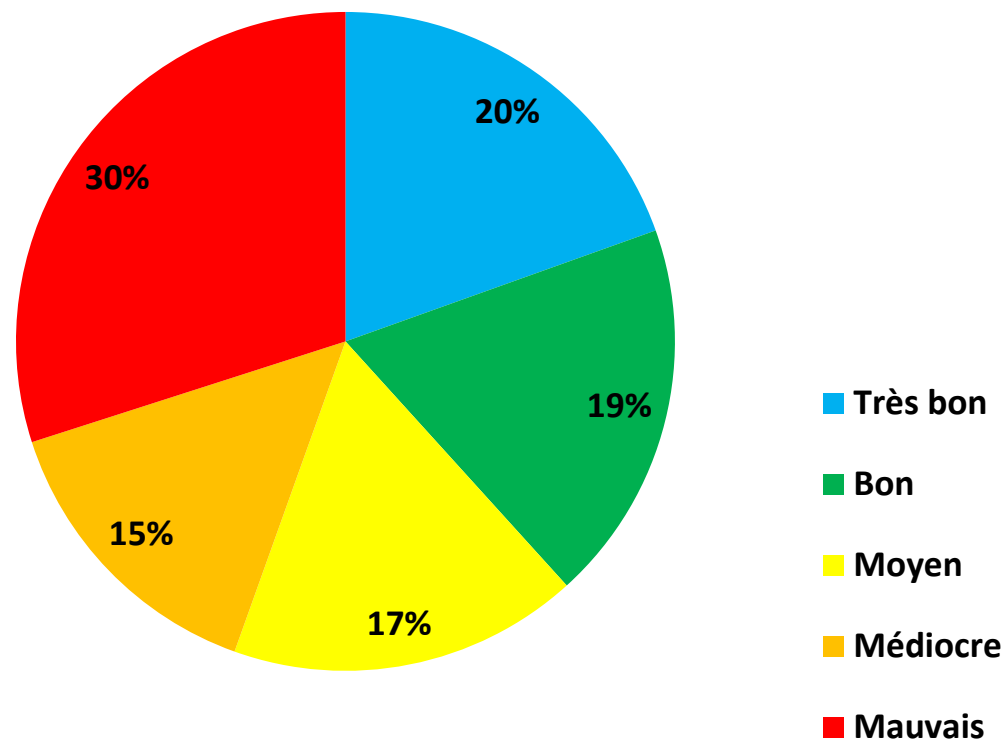
Classe 4 (médiocre) : aucune substance quantifiée\* à plus de 100 % de son seuil  
et somme comprise entre 100 % et 300 %

Classe 5 (mauvaise) : au moins une substance quantifiée\* au-delà de 100 % de  
son seuil ou somme supérieure à 300 %

\*moyenne sur la période

# Résultats

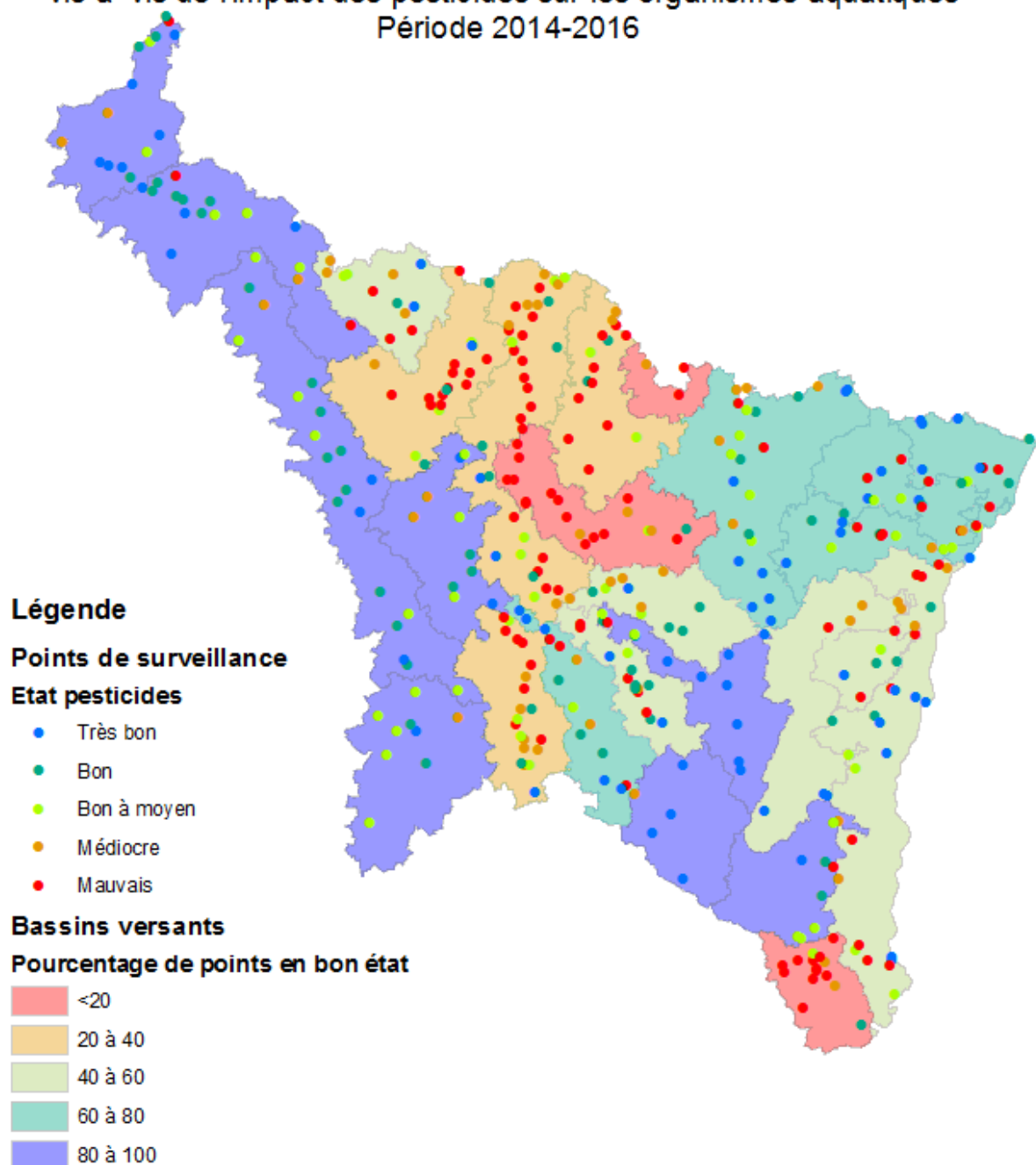
## Etat des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse vis à vis de l'impact des pesticides sur les organismes aquatiques (% des points de surveillance, années 2014 à 2016)



Etat des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse  
vis à vis de l'impact des pesticides sur les organismes aquatiques  
Période 2014-2016

# Résultats

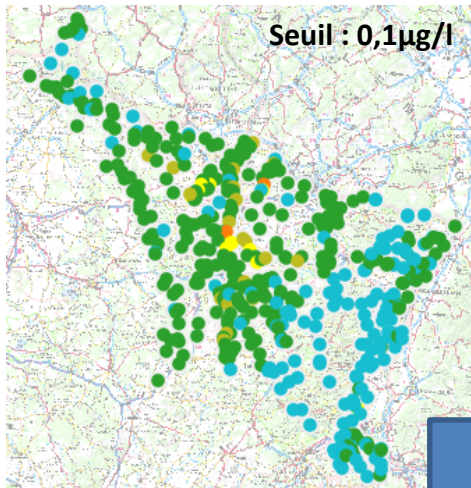
Fortes contaminations dans les secteurs argileux du bassin de la Moselle et dans le Sundgau



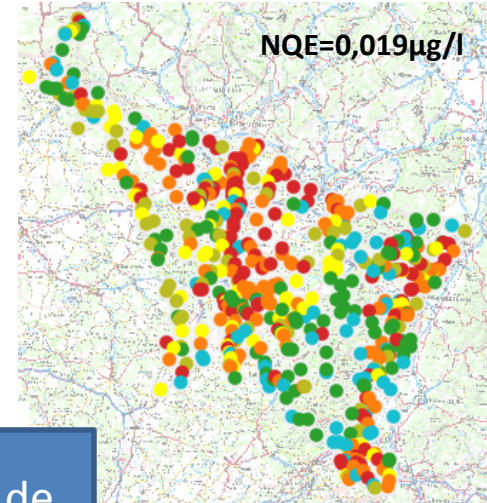


# Résultats

Indicateur AEP

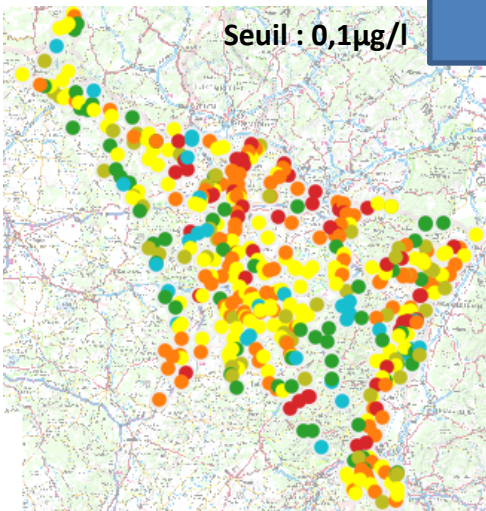


Indicateur « état écologique pesticides »

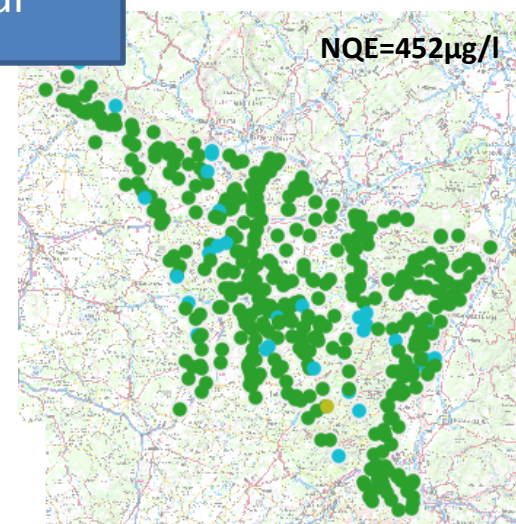


Métazachlore

Le diagnostic est très dépendant de l'objectif assigné à l'indicateur

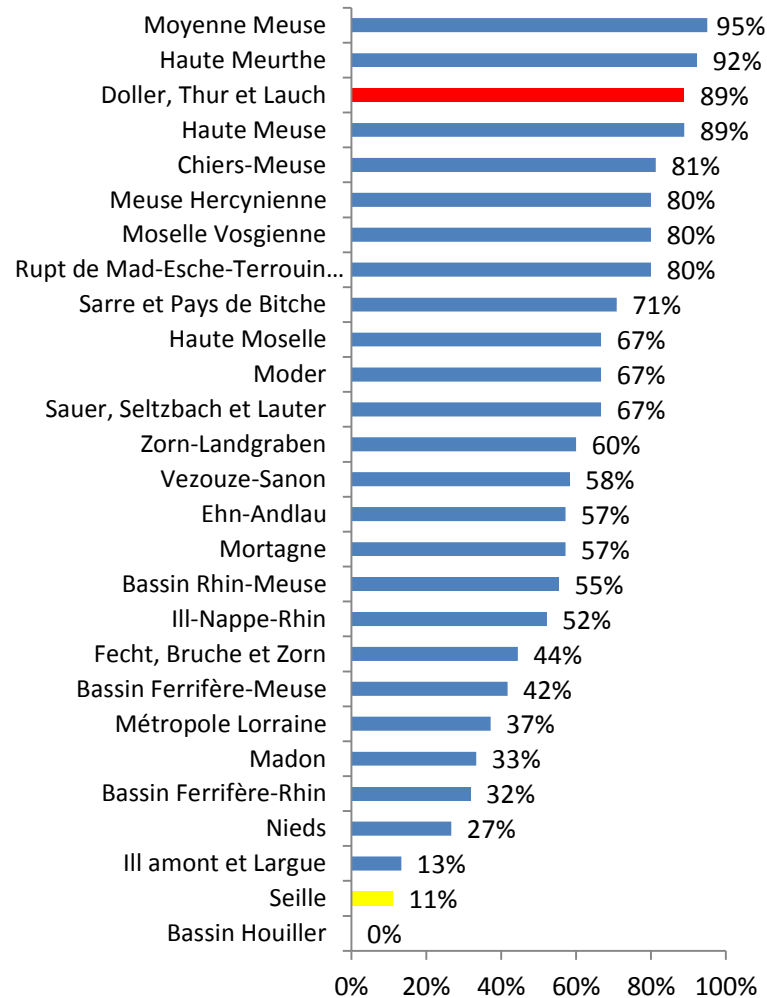


AMPA

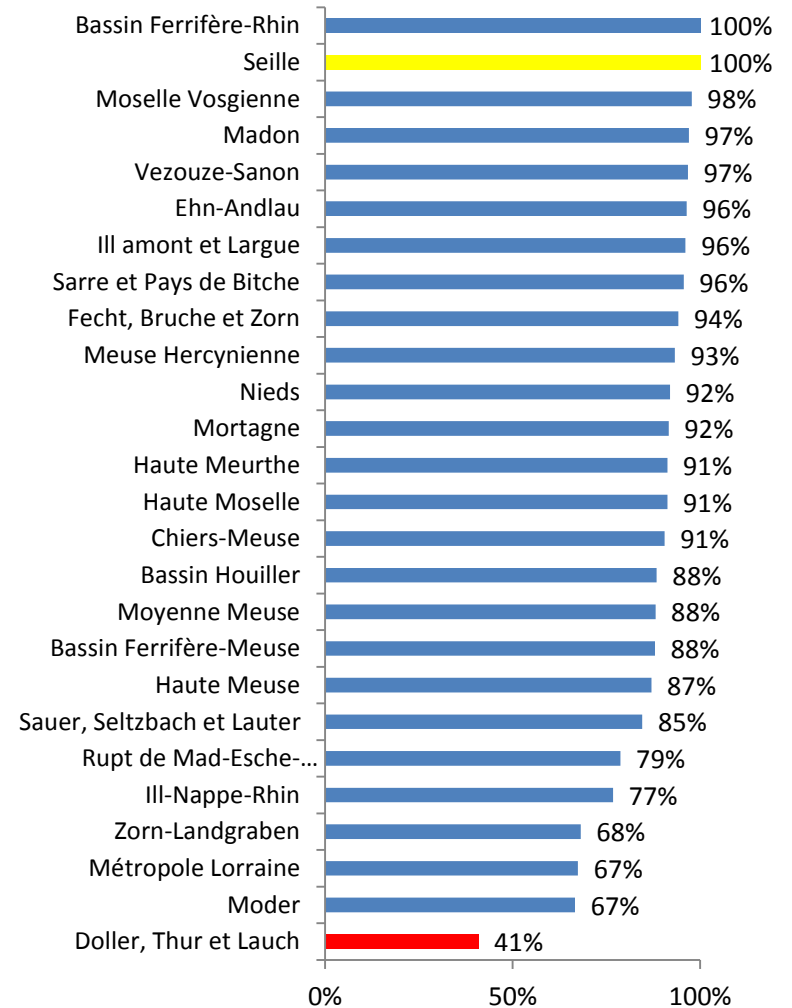


# Résultats

Proportion des points de surveillance des eaux superficielles sans risque d'impact sur les organismes aquatiques lié aux pesticides (années 2014 à 2016)

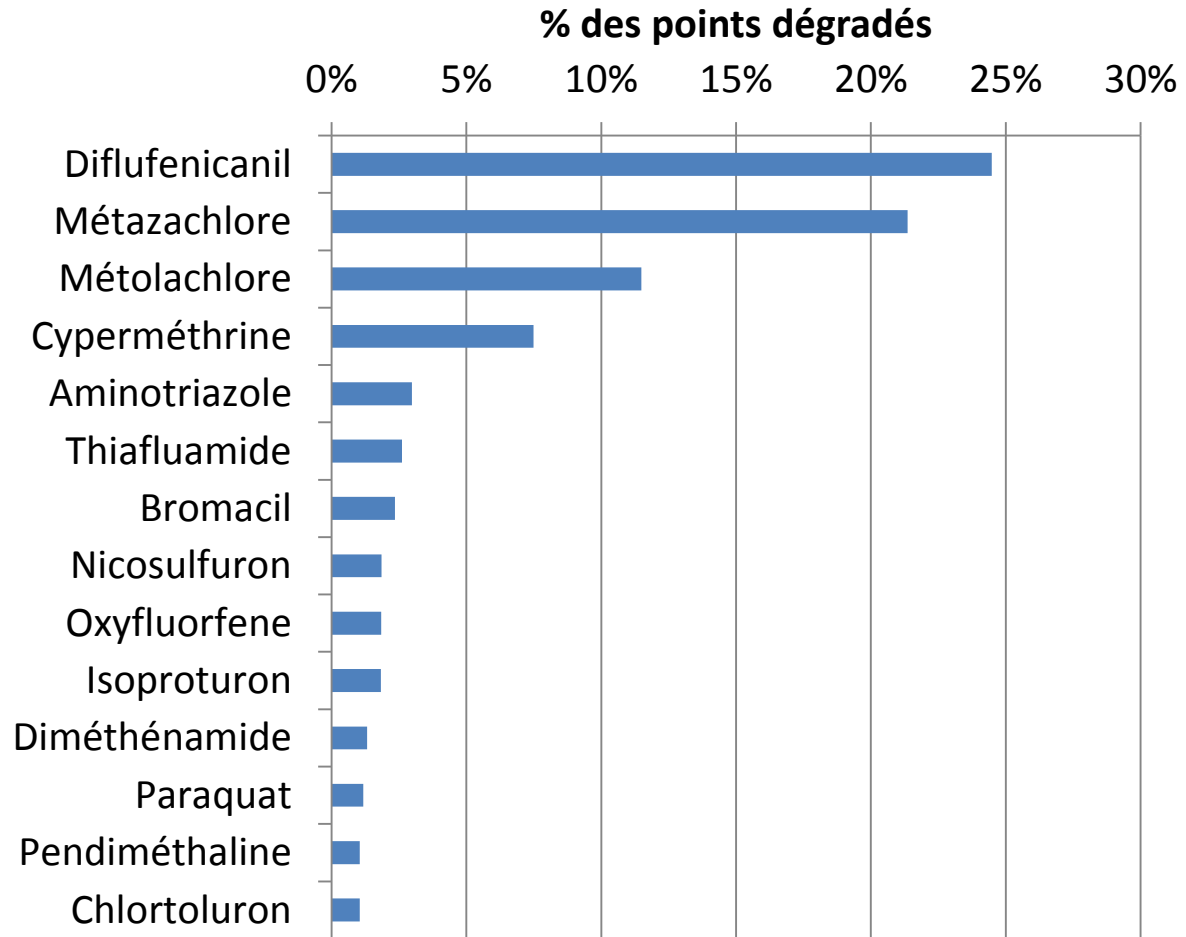


Proportion des points de surveillance des eaux souterraines sans risque d'impact sur les organismes aquatiques lié aux pesticides via les apports vers les cours d'eau (années 2014 à 2016)



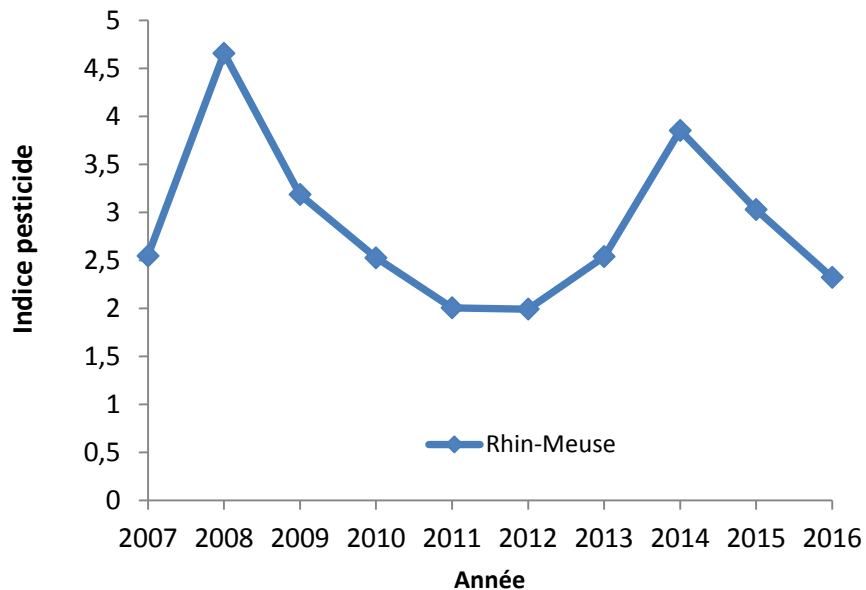
# Résultats

**Pesticides mesurés à des concentrations à risque pour les organismes aquatiques dans au moins 1 % des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse (% de points dégradés de 2014 à 2016)**



# Résultats

Indice toxique pour les organismes aquatiques lié aux pesticides dans les eaux superficielles du bassin Rhin-Meuse



**Pas de tendance marquée depuis 10 ans**

→ Ventes stables

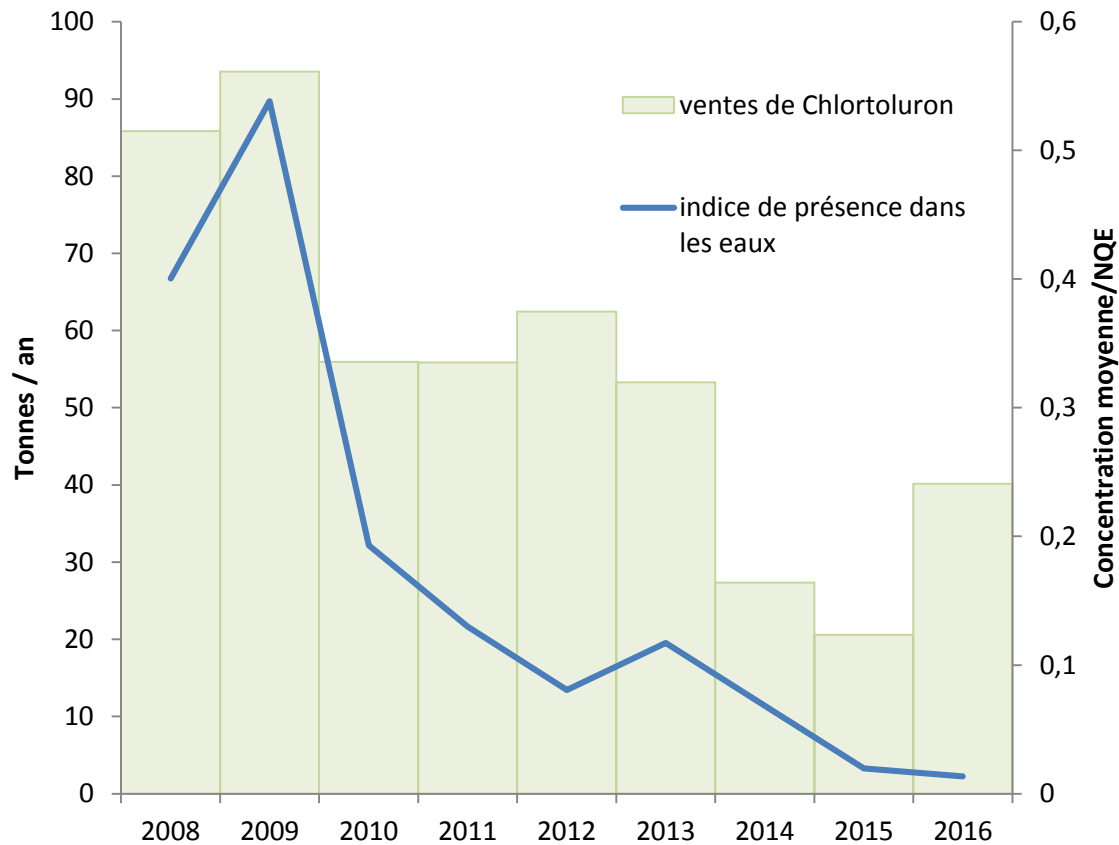
→ Phénomène de substitution des molécules interdites par de nouvelles molécules

**Nouvelles molécules avec des valeurs guides environnementales très faibles**

→ Déclassement quasi systématique de l'état des eaux en cas de météo défavorable

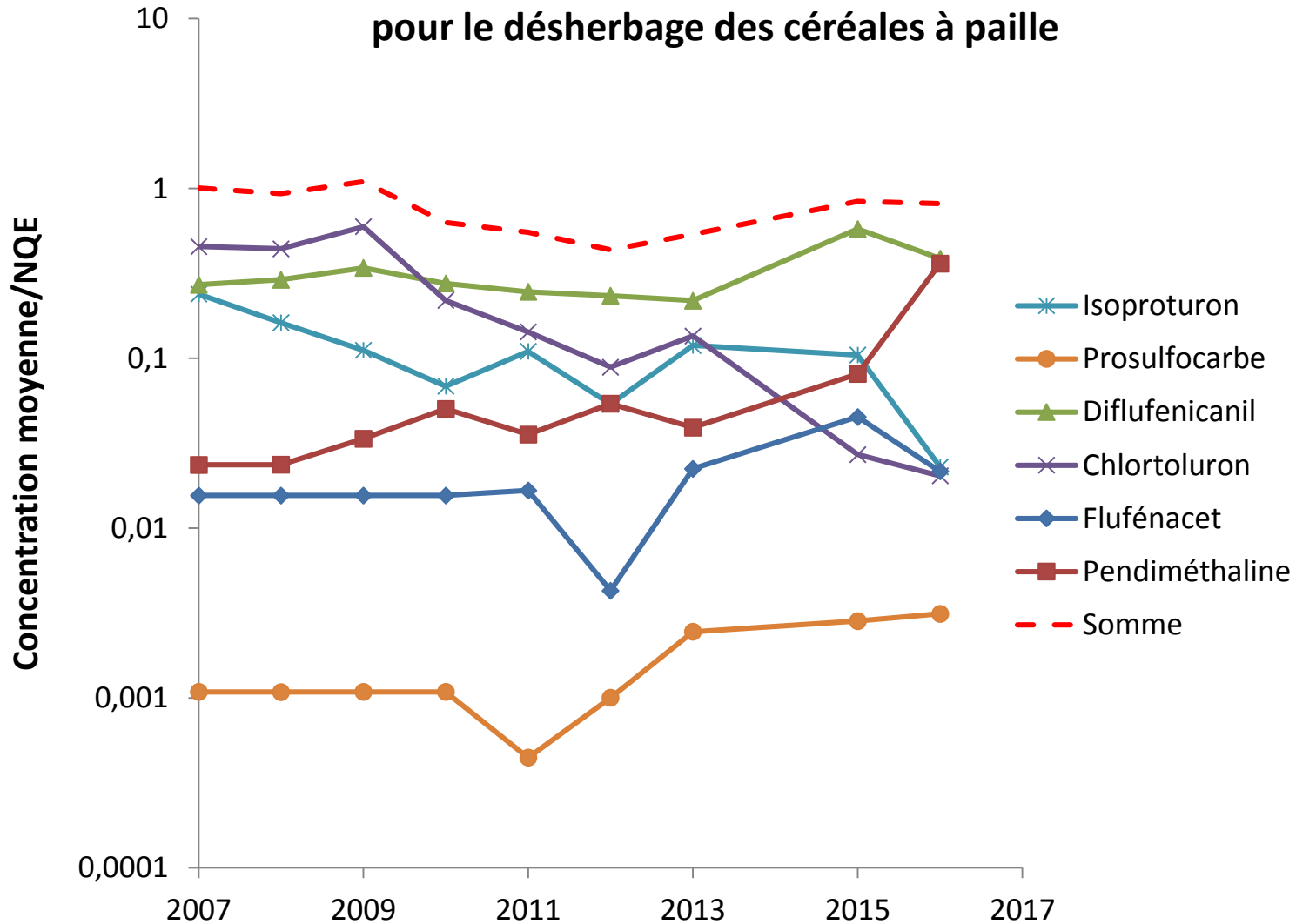
# Résultats

## Evolution comparée des ventes de Chlortoluron et de sa présence dans les cours d'eau du bassin Rhin-Meuse



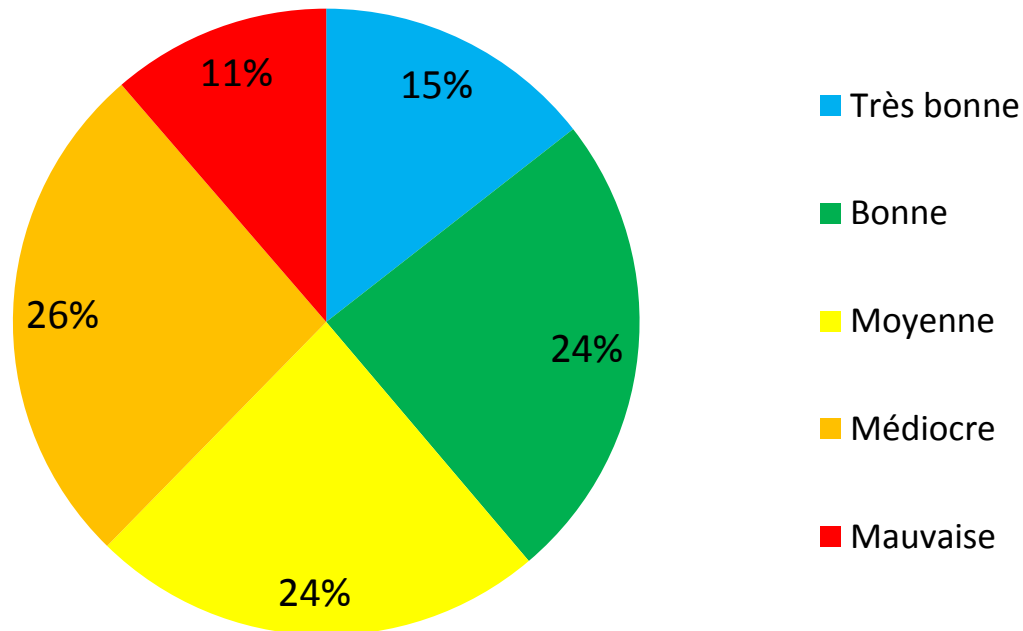
# Résultats

## Exemple d'évolution comparée de l'indice toxique des principales molécules utilisées pour le désherbage des céréales à paille



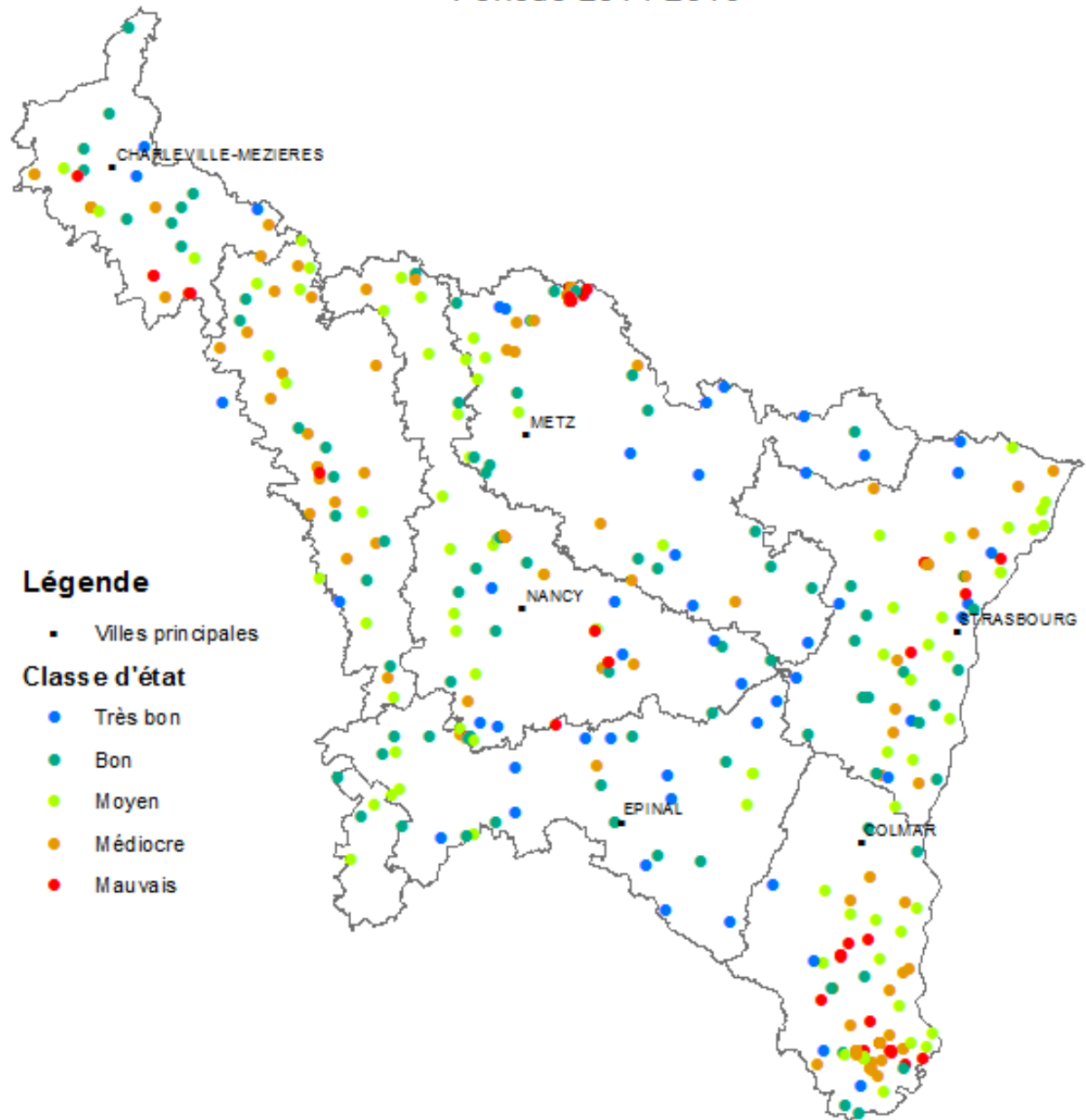
# Résultats

**Qualité de la ressource en eau souterraine pour  
produire de l'eau potable sans traitement des pesticides  
(% des points de surveillance, années 2014 à 2016)**



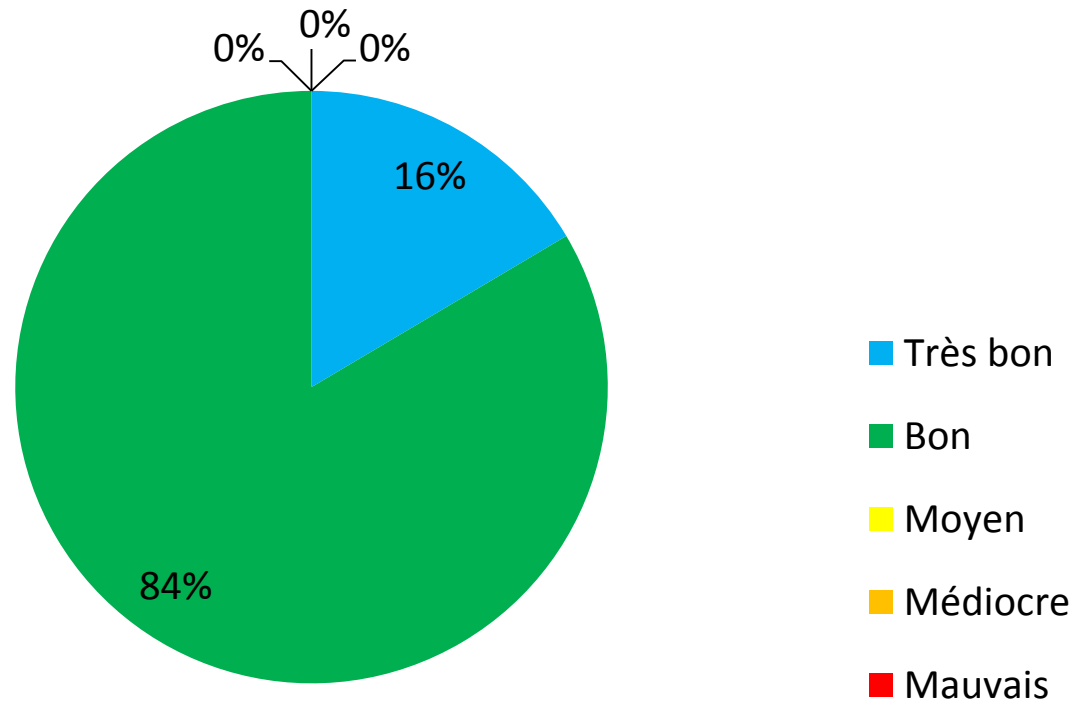


# Résultats



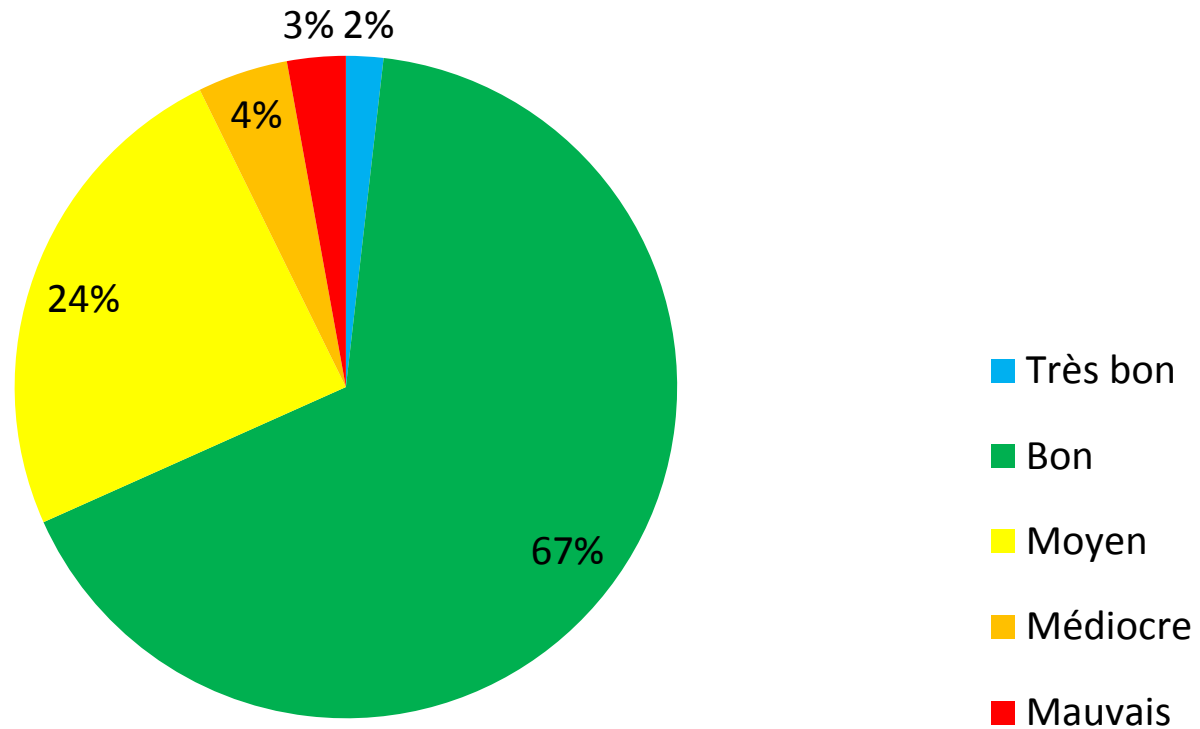
# Résultats

## Etat des eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse vis à vis de l'impact des pesticides sur la santé humaine (% des points de surveillance, années 2014 à 2016)



# Résultats

## Etat des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse vis à vis de l'impact des pesticides sur la santé humaine (% des points de surveillance, années 2014 à 2016)



# Conclusions et perspectives

---

## Résultats des indicateurs très cohérents avec les usages de pesticides et les mécanismes de transferts

### Evaluation des tendances très délicate

- Nécessite de nombreux traitements pour préparer et nettoyer les données.
- Résultats des analyses de tendance par molécule sont très cohérents avec les données de vente.
- Résultats des analyses de tendances globale prometteurs mais nécessitent encore des contrôles supplémentaires sur les effets de bords induits par la prise en compte de plusieurs centaines de substances.

### Pistes d'amélioration

- Gestion des analyses non quantifiées perfectible.
- Hypothèse de proportionnalité Concentration/Toxicité criticable pour les valeurs très éloignées du seuil.
- NQE déterminées selon le compartiment biologique le plus pénalisant. Idéalement il faudrait appliquer le principe d'additivité sur chaque compartiment et retenir le plus pénalisant.

# Conclusions et perspectives

---

## Prochaines étapes :

- Mise en relation de l'indicateur « état écologique pesticides » avec les indicateurs biologiques (traits biologiques) de sensibilité aux micropolluants.
- Renforcement de la robustesse de l'Indice global bassin (Sensibilité aux « outliers »).