

Évolution des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines

Méthodologie

Août 2014



1- L'indice national d'évolution des teneurs en nitrates dans les nappes.....	3
1.1 – La collecte des données	3
1.2 – La définition de la période de suivi	3
1.3 – Les tests de mise en place de la méthode	3
1.4 – La méthodologie de calcul de l'indice	4
1.5 – Les contrôles.....	5
1.6 – L'indice en résumé.....	5
2 – Evolution des teneurs en nitrates par classe de concentration.....	6
2.1 – La collecte des données	6
2.2 – La définition de la période de suivi	6
2.3 – La méthodologie	6
2.4 – Les contrôles.....	6
2.5 – Le graphique par classe de concentration en résumé.....	7
3 – Evolution des teneurs en nitrates par entité hydrogéologique Méthode Mann-Kendall et régression de Sen-Theil.....	7
3.1 – La collecte des données	7
3.2 – La définition de la période de suivi	8
3.3 – Les méthodes Mann-Kendall et Sen-Theil.....	8
3.4 – Les contrôles.....	9
3.5 – Les évolutions par entité hydrogéologique en résumé	9
Cartographie des points de mesure des nitrates dans les nappes de 1990 à 2010	10
Cartographie des points de mesure des nitrates dans les nappes de 1990 à 2010	11

Le SOeS appréhende de différentes façons l'évolution des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines (nappes) en produisant :

- un indice national d'évolution des teneurs en nitrates dans les nappes, sous forme de graphe,
- un graphique national d'évolution des moyennes en nitrates par classe de concentration.
- une cartographie de ces évolutions par entité hydrogéologique (regroupement d'aquifères de mêmes caractéristiques lithologiques et géographiques),

1- L'indice national d'évolution des teneurs en nitrates dans les nappes

1.1 – La collecte des données

La collecte des données de concentrations, ou teneurs, en nitrates est réalisée par une extraction de la banque de données ADES, banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, hébergée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières).

Ces données pour le paramètre nitrates (code SANDRE 1340), sont extraites sur les réseaux souhaités :

- réseaux de suivi de la Directive-cadre sur l'eau (DCE) RCS¹ et RCO²,
- réseau de suivi au titre de la Directive Nitrates,
- réseau de suivi pour le contrôle sanitaire des eaux destinées à l'alimentation en eau potable,
- autres réseaux de suivis des collectivités territoriales ou locales,
- et tous réseaux de suivis, hors réseau de contrôle des sites industriels,

selon les tests réalisés, ainsi que le référentiel des points de mesure, comprenant leur descriptif et localisation géographique.

Les premières extractions ont eu lieu sur l'ensemble des analyses en nitrates stockées dans ADES jusqu'à l'année 2010 incluses. Elles sont complétées tous les ans, en octobre, par une extraction sur les analyses de l'année n-1.

1.2 – La définition de la période de suivi

De nombreux tests ont été réalisés avant la mise en place de cet indice pour ne retenir que la méthode la plus simple, la plus fiable et la plus représentative.

Parmi ces tests, des cartes par année, représentant les points d'eau avec des mesures en nitrates, réalisées de 1990 à 2010, montre que des mesures en nitrates sont disponibles sur l'ensemble du territoire à partir de 1996 (avant pas suffisamment de mesures en Bretagne, cf. annexe).

1996, est également l'année retenue au niveau national, comme année de départ pour l'évaluation des tendances d'évolution de la qualité des masses d'eau souterraines au titre de la DCE (1996 correspond à la mise en œuvre des premiers SDAGE, intègre les progrès des laboratoires d'analyse, permet une bonne répartition "années sèches"/"années humides").

1.3 – Les tests de mise en place de la méthode

Plusieurs tests ont été réalisés pour tester l'indice :

¹ RCS : réseau de contrôle de surveillance, permet d'évaluer l'état qualitatif général des eaux et les tendances d'évolution au niveau d'un bassin

² RCO : réseau de contrôle opérationnel, permet d'assurer le suivi de la qualité des masses d'eau qui ne pourront pas atteindre le « bon état » exigé par la DCE, pour 2015, 2021 ou 2027.

- sur les points d'eau avec des mesures sur au moins 8 ans, dans la période 1996-2010.
- Travail, sur les points en nappe libres (moy. annuelles tjrs > à 2,5 mg/l).
- Travail sur tous réseaux confondus (hors contrôle des sites industriels),
- Travail sur les seuls réseaux DCE, RCS et RCO.
- Travail sur des données de 6 mois : indice saisonnier dans les eaux souterraines, sur la période de novembre/avril, les eaux souterraines étant souvent plus chargées en nitrates.

Tous les résultats montrent une évolution identique (allure de courbe identique), même si les moyennes sont plus ou moins fortes selon les réseaux et les saisons testés.

Pour simplifier, il est retenu de ne travailler que sur RCS et RCO, par année complète et en France métropolitaine. Le nombre de points de mesures de ces réseaux confondus varie entre 1500 et 2400. Ces points ont été choisis pour être représentatifs des aquifères qu'ils captent et sont répartis sur l'ensemble du territoire (cf. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/essentiel/ar/240/1108/dce-reseaux-surveillance.html>).

1.4 – La méthodologie de calcul de l'indice

Le nombre de points de mesure est variable par année, et après tests, il s'avère qu'un indice basé sur la présence au moins deux années consécutives des points de mesure est plus fiable.

L'indice est donc réalisé sur un champ constant bi-annuel : l'évolution est calculée sur un réseau comparable par paire d'années, ceci pour s'adapter à des réseaux de surveillance en constante évolution.

- ⇒ **La moyenne annuelle des teneurs en nitrates** est réalisée **par point d'eau** (ou station de mesure). Pour les eaux souterraines, toutes les mesures sont conservées. Les valeurs nulles sont transformées en < 5 mg/l. Pour certains points, il n'y a qu'une analyse dans l'année (moyenne=valeur). Le plus souvent, il y a au moins 2 mesures dans l'année sur un même point de suivi.
- ⇒ **Calcul de la moyenne annuelle nationale** (ou de la moyenne annuelle par bassin, pour un indice par bassin), par paire d'années, sur les points présents ces 2 années consécutives. Pour une année n, 2 moyennes annuelles nationales sont calculées : la moyenne des moyennes des teneurs en nitrates des points d'eau communs à l'année n et l'année n-1, et la moyenne des moyennes des teneurs en nitrates des points d'eau communs à l'année n et l'année n+1.
- ⇒ **Calcul de l'indice national** (un indice par bassin DCE est également possible), à partir des moyennes précédentes. L'indice part d'une base 100 fixée en 1996, année de début de la période de calcul. Il est chaîné avec des coefficients d'évolution relative. Pour l'année de référence (1996), indiceref = 100 et coef = 1; pour l'année i, l'indice est calculé de la façon suivante :

$$\text{indice}(i) = \text{indice}(i-1) * \text{coef}(i)$$

$$\text{coef} = \text{mean}(\text{année } n) / \text{meanr}(\text{année } n-1)$$

où

- indice(i) : indice l'année i
- coef(i) : coefficient de l'année i
- indice de référence = 100, pour l'année 1996 et son coefficient, coef = 1
- mean(année n) : teneur moyenne de l'année n (sur le panel de points présents les 2 années n-1 et n)
- meanr(année n-1) : teneur moyenne de l'année n-1 (sur le panel de points présents les 2 années n-1 et n)

Chaque année, le calcul est mis à jour avec les dernières données disponibles en année complète sur les réseaux DCE RCS et RCO, en France métropolitaine. Les extractions ont lieu en octobre et portent sur les analyses en nitrates de l'année précédente.

Il est présenté sous forme de graphique par une courbe liant les résultats par année. Les histogrammes des pluies totales sont présentés sous la courbe d'évolution de l'indice afin d'aider à l'interprétation des fluctuations de celui-ci qui peuvent être liées à la pluviosité. Plus la pluviométrie est importante, plus les nitrates sont mobilisés vers les nappes, ce qui augmente leur concentration.

1.5 – Les contrôles

En 1^{ère} approche, la cohérence du nombre de stations prises en compte d'année en année est vérifiée ainsi que celle de la valeur des indices. Le contrôle est fait à la sortie des résultats.

L'évolution annuelle des moyennes annuelles (tous points d'eau confondus), par classe de concentration, est réalisée en parallèle, et permet de confirmer l'évolution de l'indice, tout en donnant une indication plus fine sur les évolutions nationales, pour les 5 classes de concentration suivantes :

- 0 à 10 mg/l : 10 mg/l est la teneur maximale en nitrates d'une nappe naturelle, sans pollution anthropique.
- 10 à 25 mg/l : 25 mg/l est la valeur guide pour les directives européennes (DCE et Directive Nitrates) ;
- 25 à 40 mg/l : 40 mg/l est le seuil d'action pour la directive nitrates ;
- 40 à 50 mg/l : 50 mg/l est le seuil maximal pour un bon état des eaux souterraines, c'est également la teneur maximale admissible pour l'eau destinée à la consommation humaine ;
- > 50 mg/l : le seuil maximal admissible pour un bon état des eaux souterraines est dépassé.

La méthodologie de réalisation de ce graphique est présentée paragraphe 2.

1.6 – L'indice en résumé

L'Indice a été réalisé pour la 1^{ère} fois à partir des données des réseaux de surveillance de la qualité des eaux de métropole, entre 1996 et 2010 (données insuffisantes avant 1996 et dans les DOM), extraites de la Banque de données nationale ADES, gérée par le BRGM. Les points de mesure varient d'une année sur l'autre, en nombre et localisation. Aussi, l'indice est construit sur la moyenne arithmétique annuelle des nitrates d'un panel de points identiques au moins 2 années consécutives (indice chaîné biannuel).

Il est présenté en graphique, pour la 1^{ère} fois dans une publication du SOeS, dans la rubrique " Le point sur " paru en 2013, consultable sur :

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2011/1108/teneurs-nitrates-augmentent-nappes-phreatiques-jusqu'en-2004.html>

Et sur le site du SOeS, dans la rubrique " l'essentiel sur l'Environnement > Eau > Nitrates et autres macropolluants dans les eaux " :

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2000/0/evolution-nitrates-eaux-souterraines.html> et.

Avertissement : Cet indice donne un aperçu national de l'évolution des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines. Les évolutions locales sont beaucoup plus contrastées. Pour prendre en compte ces évolutions locales, un traitement des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines est réalisé par la méthode Mann-Kendall, sur l'ensemble des données en nitrates récupérées sur tous réseaux confondus.

2 – Evolution des teneurs en nitrates par classe de concentration

2.1 – La collecte des données

La collecte des données de concentrations en nitrates nécessaires à la réalisation de ce graphique est réalisée par une extraction de la banque de données ADES, banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, hébergée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières).

A la différence de l'indice, les teneurs en nitrates sont extraites sur tous réseaux confondus :

- réseaux de suivi de la Directive-cadre sur l'eau (DCE) RCS et RCO,
- réseau de suivi au titre de la Directive Nitrates,
- réseau de suivi pour le contrôle sanitaire des eaux destinées à l'alimentation en eau potable,
- autres réseaux de suivis des collectivités territoriales ou locales,
- et tous réseaux de suivis, hors réseau de contrôle des sites industriels.

Le référentiel des points de mesure des nitrates est également extrait d'ADES et comporte le descriptif de chaque point d'eau dont sa localisation géographique.

2.2 – La définition de la période de suivi

Suite aux tests réalisés pour la mise en place de l'indice d'évolution national des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, le suivi des nitrates n'est disponible sur la France métropolitaine qu'à partir de 1996.

Les données de 1996 à l'année la plus récente disponible sont donc extraites pour une meilleure pertinence du graphique et une cohérence avec l'indice et les autres calculs réalisés sur l'évolution des nitrates dans les nappes.

2.3 – La méthodologie

Il est retenu de travailler sur le maximum de données disponibles. De ce fait, le nombre de points de mesure pris en compte varie d'une année sur l'autre, entre 7 021 points de mesure en 2008 et 13 642 points en 2003. En moyenne, les calculs se font, par année, sur près de 11 000 points de mesure (10 994 points).

Sur chacun de ces points, la **moyenne arithmétique annuelle de ses teneurs en nitrates** est calculée. Les **résultats** sont conservés **par point d'eau et par année**, et **classés en 5 classes** de concentrations :

- concentration comprise entre 0 et 10 mg/l,
- entre 10 et 25 mg/l
- entre 25 et 40 mg/l
- entre 40 et 50 mg/l
- supérieure à 50 mg/l.

Le nombre de points de mesure dans chacune de ces classes est ensuite calculé, et ramené en pourcentage de points, par rapport au nombre total de points pris en compte pour l'année observée. Ce pourcentage de points de mesure dans chaque classe est présenté par année, depuis 1996.

2.4 – Les contrôles

Ils sont faits en amont des calculs par l'observation des données en nitrates et validation avec le fournisseur de la donnée pour celle qui semble « aberrante ». Les valeurs en doute sont extraites des calculs. Exemple, un point avec des concentrations habituellement inférieures à 10 mg/l qui présente une valeur unique supérieure à 100 mg/l, non confirmée par le fournisseur de la donnée.

Après les calculs, les évolutions par classe de concentration sont comparées à la courbe de l'indice, pour valider la tendance générale.

2.5 – Le graphique par classe de concentration en résumé

Cette approche permet d'observer l'évolution des classes de concentration et d'identifier quelle classe augmente et quelle classe diminue. Elle présente l'avantage de ne pas trop manipuler la donnée initiale (une seule moyenne arithmétique sur l'année). Elle présente l'inconvénient de ne pas travailler à champ constant mais le nombre de points de suivis étant important (supérieur à 7000), la représentativité des données est toutefois conservée, l'ensemble du territoire métropolitain étant couvert.

Avertissement : parmi les points de mesure pris en compte, beaucoup sont des captages d'eau destinée à la consommation humaine (également nombreux dans les réseaux RCS et RCO). Avant 2009, la protection de ces captages ciblait essentiellement les pollutions accidentelles et peu les pollutions agricoles diffuses (nitrates et pesticides). Certains étaient toutefois abandonnés lorsque celles-ci devenaient trop importantes. L'identification de 500 captages « Grenelle » ou « prioritaires », en 2009, devenus 1000 suite à la conférence environnementale de 2013, impose une lutte contre les pollutions diffuses dans l'aire d'alimentation de ces captages pour l'eau potable.

A terme, le résultat des actions mises en œuvre dans ce cadre, devrait se traduire par une diminution du % de points dans les classes aux teneurs les plus élevées à l'avantage des classes aux teneurs moyennes à faibles. Mais, si les teneurs en nitrates diminuent dans l'eau de ces captages, il n'en sera pas obligatoirement de même à l'échelle de l'aquifère qu'ils captent.

3 – Evolution des teneurs en nitrates par entité hydrogéologique Méthode Mann-Kendall et régression de Sen-Theil

L'indice d'évolution des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines, comme le graphique par classe de concentration, apporte un aperçu national général de l'évolution des teneurs en nitrates dans les nappes. Les évolutions locales sont beaucoup plus contrastées.

Pour prendre en compte ces évolutions locales, un traitement des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines est réalisé par la méthode Mann-Kendall, et notamment la méthode Mann-Kendall saisonnier, complétée par la méthode de Sen-Theil. Cette méthode de traitement statistique permet d'écarter les valeurs aberrantes et de travailler avec un faible nombre de données.

La méthode utilisée est celle préconisée au niveau national pour réaliser les tendances d'évolution de la qualité par masse d'eau souterraine, dans le cadre de la DCE. Cette méthode est appliquée pour le calcul des risques de non atteinte du bon état chimique (cf. note explicative utilisée pour l'état des lieux DCE et la révision des SDAGE : « 2013 257 GR1 SB Note tendances SDAGE.odt »).

3.1 – La collecte des données

La collecte des données de concentrations en nitrates nécessaires à la réalisation de ce graphique est réalisée par une extraction de la banque de données ADES, banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, hébergée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières).

Pour avoir localement le plus de données possibles, les teneurs en nitrates sont extraites sur tous réseaux comportant des données de teneurs en nitrates (code SANDRE 1340), hors réseau de contrôle des sites industriels :

- réseaux de suivi de la Directive-cadre sur l'eau (DCE) RCS et RCO,
- réseau de suivi au titre de la Directive Nitrates,
- réseau de suivi pour le contrôle sanitaire des eaux destinées à l'alimentation en eau potable,
- autres réseaux de suivis des collectivités territoriales ou locales,
- et tous réseaux de suivis, hors réseau de contrôle des sites industriels.

Une extraction du référentiel des points de mesure en nitrates est également faite pour disposer du descriptif des captages et de leurs coordonnées géographiques.

3.2 – La définition de la période de suivi

Suite aux tests réalisés pour la mise en place de l'indice d'évolution national des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, le suivi des teneurs en nitrates n'est disponible sur l'ensemble de la France métropolitaine qu'à partir de 1996.

Comme pour les autres calculs des tendances d'évolution des nitrates dans les nappes, la période retenue pour examiner les évolutions locales est de 1996 à l'année la plus récente disponible.

3.3 – Les méthodes Mann-Kendall et Sen-Theil

L'approche descriptive est réalisée par la mise en œuvre du test de base de Mann-Kendall, appliquée par point de mesure, tandis que l'approche globale nécessite l'utilisation du test Mann-Kendall régional, appliquée par entité hydrogéologique (regroupement d'aquifères de même nature). Ces méthodes sont complétées par l'application de la méthode de Sen-Theil qui en réalisant une régression, permet de chiffrer les évolutions à la hausse ou à la baisse des teneurs en nitrates (pente de la droite de régression), par point d'eau, ou par entité hydrogéologique.

La méthode de traitement statistique Mann-Kendall est appliquée sur une sélection de points de mesure présentant des analyses en nitrates sur au moins 4 années, entre 1996 (directive nitrates) et la dernière année de mesures disponible, et avec une présence obligatoire d'au moins une analyse sur la période 1996 à 2000 et ainsi que sur la période des 4 dernières années disponibles, par exemple :

- 2007 et 2011 (en 2013),
- 2008 et 2012 (en 2014).

Les mesures sur certains points de mesure de la Directive Nitrates n'ont lieu que tous les 4 ans. Pour intégrer au mieux les mesures sur ces points, une année supplémentaire de présence des données sera exigée, tous les 4 ans.

Par ailleurs, les points où une dénitrification est possible sont exclus, c'est-à-dire :

- ceux dont les valeurs brutes en nitrates sont toujours ≤ 5 mg/l
- ou ceux dont la moyenne en nitrates sur la période est ≤ 2 mg/l.

Le calcul est donc fait pour ne tenir compte de l'évolution des teneurs en nitrates que dans les nappes libres, plus vulnérables aux pollutions agricoles diffuses.

Les résultats de la méthode Mann-Kendall suivie de la régression de Sen-Theil appliquée à la sélection de points de mesures en nitrates telle que décrite ci-dessus permettent de présenter les évolutions chiffrées par point d'eau, et dans un deuxième temps par aquifère (méthode Mann-Kendall régional) pour une synthèse nationale.

Dans ce second cas, le SOeS présente les résultats par « entité hydrogéologique » (regroupement d'aquifères de même nature lithologique et continus, ou proches géographiquement), et non par masse d'eau souterraine DCE.

La méthode Mann-Kendall régional est décrite par Helsel et Frans dans un document de 2006 (Helsel, D.R. and Frans, L.M., (2006), The Regional Kendall test for trend. Environmental Science and Technol. 40 (13), p. 4066-4073).

Les résultats sont présentés par entité hydrogéologique ou grand aquifère, et par classe d'évolution moyenne en mg/l/an :

- Plus de +0,5 mg/l/an, soit une augmentation des teneurs moyennes en nitrates supérieure à 5 mg/l en 10 ans, dans la nappe contenue dans l'entité hydrogéologique considérée
- Entre +0,25 et +0,5 mg/l/an
- Entre +0,05 et +0,25 mg/l
- Stabilité : entre -0,05 et +0,05 mg/l/an, stable ou avec des évolutions faibles, inférieures à 0,05 mg/l/an en augmentation ou diminution
- Entre -0,05 et -0,25 mg/l
- Entre -0,25 et -0,5 mg/l/an

- Plus de -0,5 mg/l/an
- Tendance non significative : les fluctuations peuvent être importantes mais ne permettent pas de déceler une réelle tendance à la hausse ou à la baisse
- Mesures insuffisantes : il y a moins de 10 mesures sur l'entité considérée et sur la période considérée (1996 à actuel - 2 ans).

3.4 – Les contrôles

Les contrôles sont réalisés lors de l'exploitation des données et la cartographie. Toutes les entités hydrogéologiques avec des résultats différents par rapport aux années précédentes sont vérifiées.

3.5 – Les évolutions par entité hydrogéologique en résumé

Cette approche permet d'appréhender les évolutions locales des concentrations en nitrates dans les nappes, de les chiffrer et de les cartographier. Elle est calée sur les préconisations de la DCE pour le calcul des tendances dans les eaux souterraines.

Un des biais de cette méthode consiste à considérer l'ensemble de la série depuis 1996, avec une évolution unique. Les évolutions récentes (inversion de courbe de tendance) sont donc masquées mais la comparaison des résultats d'une année sur l'autre permet de voir l'infléchissement des tendances.

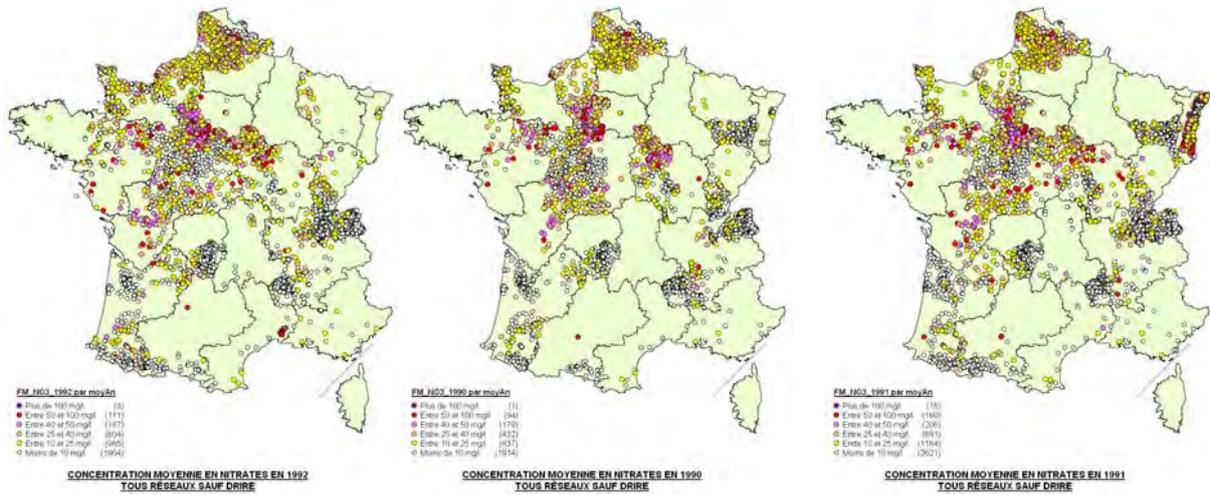
Annexe

Cartographie des points de mesure des nitrates dans les nappes de 1990 à 2010

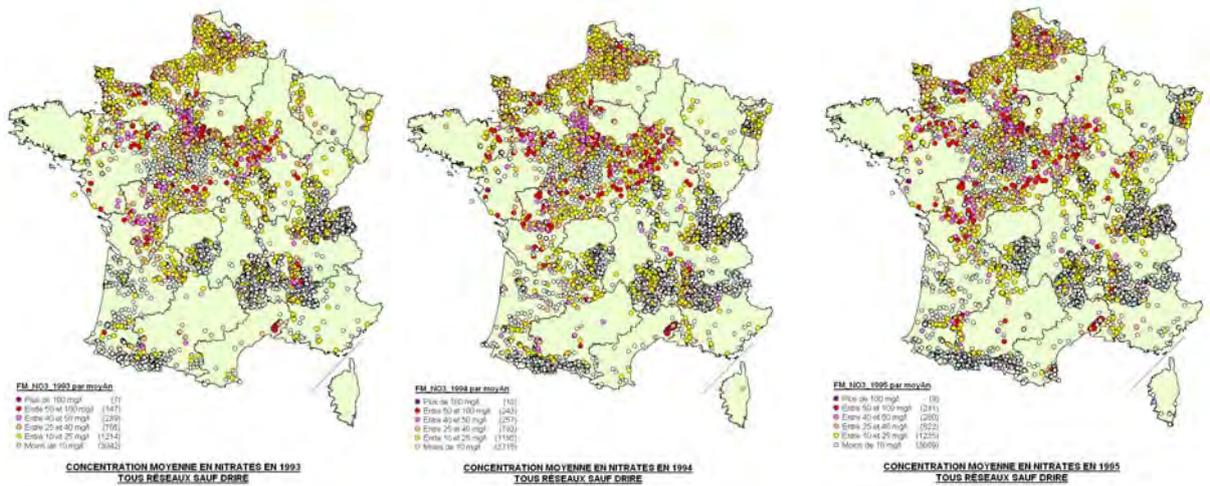
Cartographie des points de mesure des nitrates dans les nappes de 1990 à 2010

(Tous réseaux confondus, points et mesures extraits de la banque ADES, BRGM)

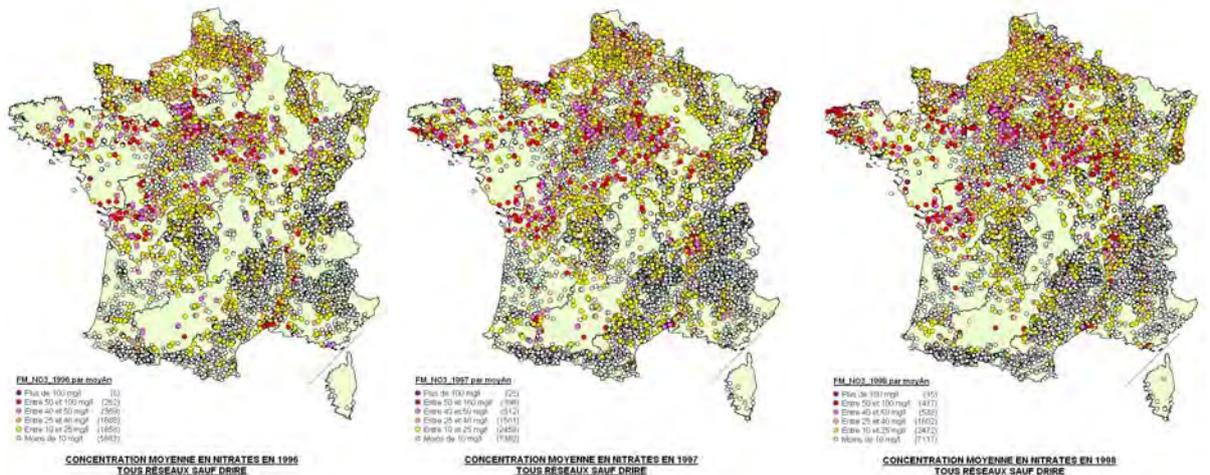
1990	1991	1992
------	------	------



1993	1994	1995
------	------	------



1996	1997	1998
------	------	------



2008	2009	2010
------	------	------

