

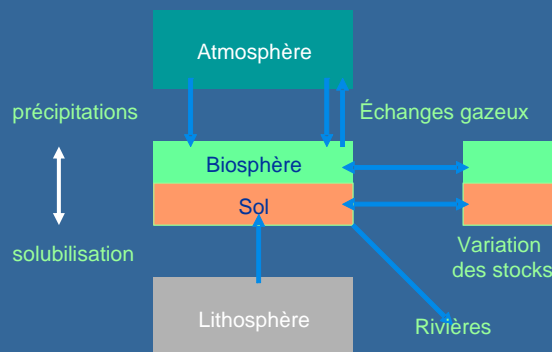
3. Qualité des eaux

Altérations naturelles, pollutions et système d'évaluation de la qualité

ENPC, Ecole des Ponts ParisTech
LEESU, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains
UFMG Universidade Federal de Minas Gerais
EHR Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos

Martin.Seidl@leesu.enpc.fr
<http://edu.h2o.net>

« Cycle » naturel des éléments



Craie & granite

Étretat



Bretagne



Martin Seidl
2011

3

Éléments dissous

Variabilité spatiale et temporelle de la composition des eaux

1. Composition en relation avec la phase solide (solution/précipitation)
2. Composition en relation avec le débit
 $C = a \cdot Q^b$, augmentation ($b > 0$), décroissance ($b < 0$)
3. Composition en relation avec l'atmosphère
 $C = H \cdot p_i$ (loi Henry)

Martin Seidl
2011

4

Composition

- Proximité océanique (Cl, Ca, Mg, Na, K)
- Caractéristiques du sol (argile, sables, tourbière etc)
- Caractéristiques du sous-sol (socle granitique, couche sédimentaire ..)
- Influence du cycle de production / décomposition (O_2 , CO_2 , pH (H^+), COD, NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-})

Cations: $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > K^+$
Anions: $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$

Eau minérale

- Eau de Paris / eau minérale

MINÉRAUX mg/l	Limites et références de qualité*	L'eau de Paris	eau minérale			
			Évian	Contrex	Vittel	Vichy Célestins
Calcium	-	90	80	468	203,8	103
Magnésium	-	06	26	74,5	43,1	10
Sodium	200	10	6,5	9,4	5	1 172
Potassium	12	02	1	-	-	66
Bicarbonates	-	220	360	372	399	2 989
Sulfates	250	30	12,6	1 121	328,9	138
Chlorures	250	20	6,8	-	-	235
Nitrates	50	29	3,7	-	4,3	-
Fluor	1,5	0,17	-	-	-	-
Minéralisation totale, extrait à sec à 180 °C		420	309	2 078	844	3 325

* Relatives à l'eau du robinet et aux eaux de source, suivant le code de la santé publique.

Comparatif entre la moyenne des sels minéraux de l'eau de Paris et la composition de certaines eaux minérales naturelles, décembre 2009. Le résidu sec indique la teneur globale en sels minéraux en mg/l après chauffage de l'eau à 180 °C pendant plusieurs minutes. Il est étroitement lié à la minéralisation de l'eau.

Précipitas



Martin Seidl
2011

7

Éléments particuliers



- MES (matières en suspension)
 - augmentation des concentrations avec le débit
 - maximum de MES anticipe sur le maximum de débit
- Variabilité temporelle de la composition des eaux
- Conséquence pour les éléments fixés sur les particules

Martin Seidl
2011

8

=> Cycle des éléments perturbé => pollution

- Pollution, définition OMS :
« composition ou état des eaux modifiés, directement ou indirectement par l'activité de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles sauraient servir à leur état naturel ou à certaines d'entre-elles »
- Altération d'un écosystème sous l'action d'agents (polluants) produits directement ou indirectement par l'homme et ses activités
- Échelle de temps de <1 an (matière organique) à >10 000 ans (éléments radioactifs)

Martin Seidl
2011

9

Concentration => pollution

	NORME, ppm	« naturel »	pollution
MES	100	200 estuaire	20 rivière
NO3	50	20 STEP	1 rivière montagne
DBO5	20	100 tourbière	5 rivière montagne
HAP	0,01	10 forêt en feux	0 rivière montagne

Martin Seidl
2011

10

Types et catégories de pollution


- pollution domestique (STEP etc : N, P, *pathogènes* ...)
- pollution industrielle (Erica, AZF : *micropolluants*)
- pollution agricole (Agriculture intensive : N, P + *pesticides* + *OGM*)
- pollution « accidentelle »


Exemples


- Pathogènes
- Formule HAP
- Pesticides
- Parabens
- Médicaments

Pollution domestique

- STEP, RUTP etc ...







<http://lepi.net/>

Martin Seidl
2011

Pollution industrielle : pétrole

ERICA (Total) 1999






11 décembre 1999, les côtes françaises, du Finistère à la Charente-Maritime, sont souillées sur 400 km par le naufrage du tanker de Total-Elf Erica. Le nombre d'oiseaux morts est estimé entre 150 000 et 300 000 - dix fois plus que pour le naufrage de l'Amoco Cadiz. Le poids des déchets est estimé à 250 000 tonnes. La cargaison officielle est du fioul lourd no 2 dans lequel on retrouve des HAP, réputés cancérigènes. En estimant une teneur en HAP de 0,05 %, sur 18 000 tonnes de fioul à la mer, ce sont 10 tonnes des HAP qui se seraient retrouvés dans l'océan.

Martin Seidl
2011

Pollution industrielle : boues toxiques

Déversement accidentel d'un million de mètres cubes de boue toxique issus d'une usine de production d'aluminium à 160 km environ à l'ouest de Budapest, Hongrie octobre 2010



MAL Magyar Aluminium 2010

Martin Seidl
2011

RTL.fr

Maxiscience.fr

15

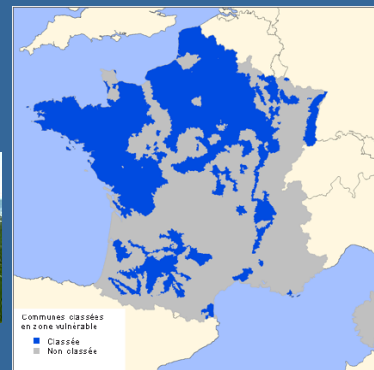
Pollution agricole : NO₃⁻

Origine des pollutions par les nitrates

- 66%, d'origine agricole
- 22%, d'origine domestique
- 12%, d'origine industrielle

Source: direction de l'eau et de la biodiversité

la désignation de "zones vulnérables", parties de territoires alimentant des masses d'eau dépassant ou risquant de dépasser le seuil de 50 mg/l en nitrate, ainsi que celles présentant des tendances à l'eutrophisation



Martin Seidl
2011

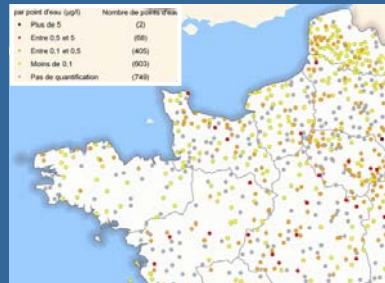
16

Pollution agricole : pesticides

Pollutions des eaux de surface par les pesticides

- Sur 2023 points d'observation de la qualité des eaux de surface : 9,2% des stations n'ont pas mis en évidence la présence de pesticides, **55% des stations présentent une concentration totale en pesticides (en moyenne annuelle) supérieur à 0,1 µg/L** ;

Source: [SDIS 2010, Données 2007](#)



Pollution des eaux souterraines par les pesticides

- Sur 1963 points d'observation de la qualité des eaux souterraines : 14 % des stations présentent au moins une substance dont la concentration moyenne en 2007 est supérieure à la norme de qualité correspondante ;

Source: [SDIS 2010, Données 2007](#)

Martin Seidl
2011

17

Les impacts

Altérations
« bien
connues »

- Pathogènes : santé publique – cholera
- Nutriments N,P : écosystème - eutrophisation ou surcroissance algale, santé publique – nitrates

Altérations
« moins »
connues

- Micropolluants : santé publique – pesticides, environnement – bioaccumulation / mortalité

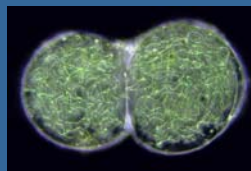
Martin Seidl
2011

18

Nouveaux descripteurs de qualité

Les cyanobactéries : une problématique émergente

La présence de cyanobactéries (algues bleues) dans les eaux calmes, favorisée par l'eutrophisation et les températures élevées, constitue une problématique émergente de sécurité sanitaire. Elle pose problème pour la potabilisation des eaux de surface et pour la baignade. En 2004, une quinzaine de départements ont signalé des proliférations de cyanobactéries sur une soixantaine de sites de baignade et de loisirs nautiques, en raison de la présence de toxines et d'un dépassement du niveau II de gestion du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (100 000 cellules par ml). Compte tenu des risques sanitaires engendrés par les cyanobactéries, ce paramètre est inclus dans la nouvelle directive européenne 2006/7/CE du 15 février 2006 qui remplace la directive 76/160/CEE sur les eaux de baignade.



Martin Seidl
2011

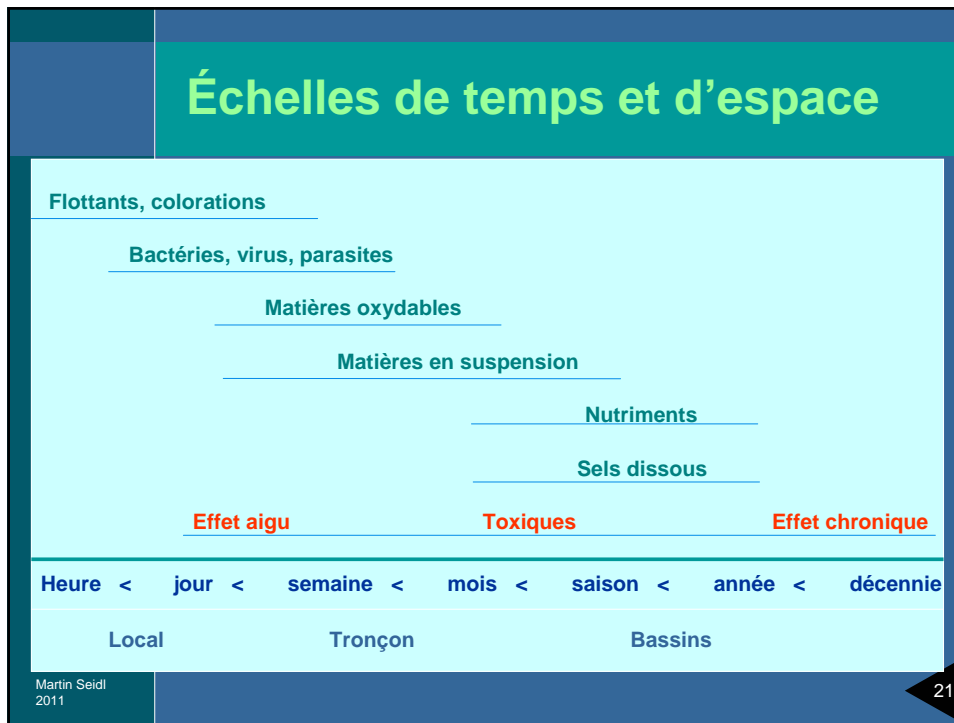
19

Descripteurs de qualité

Paramètres	Altérations	Effets
O^2 -sat O^2 -DCO-DBO5-COD-NKJ-NH 4^+	1. Matières organiques et oxydables	Consomment l'oxygène de l'eau
NKJ-NH 4^+ -NO 2^-	2. Matières azotées hors nitrates	Contribuent à la prolifération d'algues et peuvent être toxiques (NO $_2^-$)
NO 3^-	3. Nitrates	Génent la production d'eau potable
Ptotal-PO 4^{3-}	4. Matières phosphorées	Provoquent les proliférations d'algues
MES-Turbidité-Transparence SECCHI	5. Particules en suspension	Troublent l'eau et génent la pénétration de la lumière
Couleur	6. Couleur	
Température	7. Température	Trop élevée, elle perturbe la vie des poissons
Conductivité-Ca $^{2+}$ -Na $^+$ -Mg $^{2+}$ -K $^+$ -SO 4^{2-} -Cl-TAC-TH	8. Minéralisation	Modifie la salinité de l'eau
pH-Al dissous	9. Acidification	Perturbe la vie aquatique
Chl-a+phéopigments-Algues-pH-%sat O^2 - ΔO^2	10. Phytoplankton	Trouble l'eau et fait varier l'oxygène et l'acidité. Gène la production d'eau potable
Coliformes fécaux, coliformes thermotolérants (E. Coli), Streptocoques fécaux (ou entérocoques)	11. Micro-organismes	Génent la production d'eau potable et la baignade
Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu-As	12. Métaux (sur bryophytes)	Indicateurs d'une pollution de l'eau par les métaux
Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu-As-Se-Cn	13. Micropolluants minéraux	Sont toxiques pour les êtres vivants et les poissons en particulier. Génent la production d'eau potable
Atrazine-Simazine-Lindane-Diuron (36 substances)	14. Pesticides	
HAP-PCB-Tétrachloroéthylène... (63 substances)	15. Micropolluants organiques	

Martin Seidl
2011

20



Estimations des paramètres de qualité

- **PHYSICO-CHIMIE**
1874 : premières mesures d'oxygène en Seine
Observation d'un minimum d'oxygène à l'aval de Paris
Boudet et Girardin
(*colorimétrie Winkler*)
- **NUTRIMENTS**
titration > colorimétrie
- **METAUX**
Amélioration des performances analytique
(*AAS > plasma, HPLC > GC SM ...*)
- **MICROPOLLUNATS ORGAQUES**
2000 : plusieurs centaines de composées chimiques
(*AAS, HPLC*)

Martin Seidl
2011

22

Exemple d'analyses quanti-qualitatives



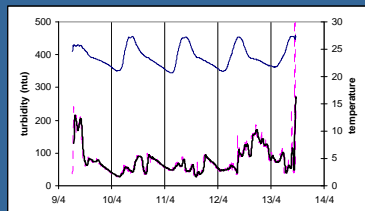
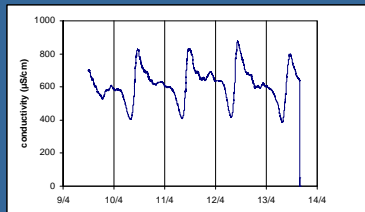
- Electrochimie
- Spectrophotométrie
- Adsorption atomique



DETAILS

- 1 Diapo capteurs
- 1 Diapo colorimétrie
- 1 Diapo Chromatographie
- 1 Diapo AAS

Systemes de mesure « temps réel »



2010 Brejo Quaresma, Belo Horizonte

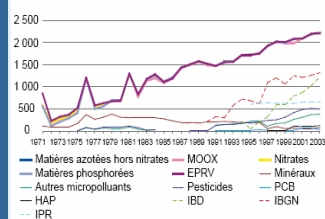
Martin Seidl
2011

27

Réseaux de mesures

- Agence Européenne de l'environnement /WRC
- IFEN : Institut Français de l'environnement
- RNDE : réseau national des données sur l'eau /SANDRE
- Observatoires régionaux
- RNB : réseau national de bassin
- Réseaux départementaux
- Réseaux d'usage
 - eaux de baignade
 - surveillance des prises d'eau
 - surveillance des rejets (police de l'eau, autocontrôle)
 - suivis scientifiques

Évolution du nombre de stations suivies par les réseaux patrimoniaux (RNB, RCA et RCB)



MOOX : matières organiques et oxydables.
EPRV : effet des proliférations végétales.
Autres micropolluants : micropolluants organiques autres que pesticides, HAP et PCB.
IPR : indice poissons rivières.
IBD : indice biologique diatomées.
IBGN : indice biologique global normalisé.

Source : agences de l'Eau - Traitements Ifen.

Martin Seidl
2011

28

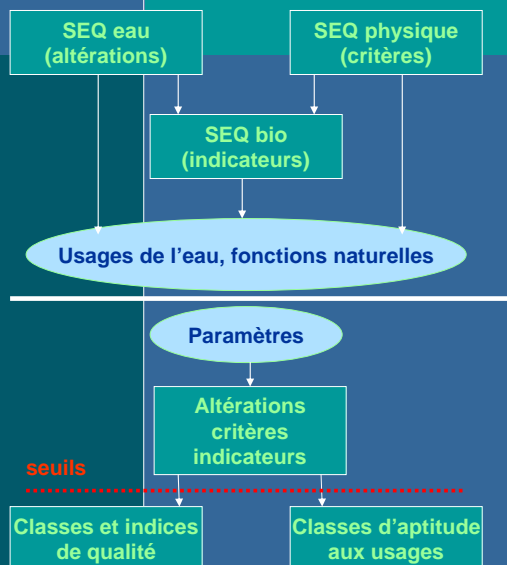
Éléments normatifs

- 1964 : loi sur l'eau
 - 1971 : Inventaire National des Pollutions
 - Objectifs de qualité
 - Grille de qualité (1A, 1B, 2, 3, HC)

- 1992 : loi sur l'eau
 - 2000 : **Système d'Évaluation de la Qualité**
 SEQ eau, SEQ bio, SEQ physique
 SEQ eaux souterraines
 SEQ plans d'eau

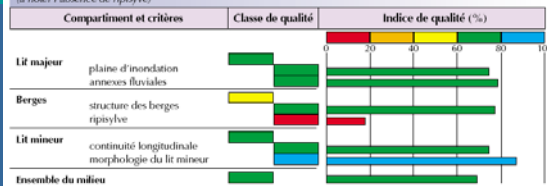
- 2002 : loi cadre sur l'eau / Europe

Système d'Évaluation de la Qualité



« SEQ physique »

Exemple de résultats sur un cours d'eau : la Boutonne à Chef-Boutonne
(à noter l'absence de ripisylve)



La Boutonne au niveau de Chef-Boutonne.



Martin Seidl
2011

31

SEQ Bio 1 diapo

Classe de qualité	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Qualité biocénose	très bonne	bonne	passable	mauvaise	très mauvaise
Proliférations					
Proportion cyanophytes* % maximum		5	30	60	90
Fleur d'eau algale	absence			localisée	généralisée
% recouvrement des algues filamenteuses		10	30	50	80
% recouvrement Potamogeton pectiné		10	30	50	80
Perche-soleil Secteur salmonicole	0	quelques individus	+ de 25 ind pour 10 ares ou + de 2 kg par hectare		
Secteur cyprinicole	0	quelques individus	+ de 100 ind pour 10 ares ou + de 9 kg par hectare		
Poisson-chat Secteur salmonicole	0	quelques individus	+ de 30 ind pour 10 ares ou + de 8 kg par hectare		
Secteur cyprinicole	0	quelques individus	+ de 80 ind pour 10 ares ou + de 25 kg par hectare		

* Abondances relatives

Recommandations pour la collecte des données : voir annexe 4

Martin Seidl
2011

32

« SEQ eau » exemple de calcul

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

IQA = SEQ indice de qualité de 0 à 100;
 qi = qualité de paramètre i via relation spécifique
 wi = facteur de poids, entre 0 et 1, qui dépend
 de l'importance du facteur

qi NO3-N / NH4-N

PARAMETRE "qi"	COEFF "wi"
Matières organiques (8 paramètres)	0.1
Matières azotées (3)	0.1
Nitrates (1)	0.1
Matières phosphorées (2)	0.1
Particules en suspension (3)	0.1
Couleur (1)	0.05
Minéralisation (9)	0.1
Acidification (3)	0.1
micro-organismes (3)	0.15
phytoplancton (6)	0.1
micro-polluants sur eau brute (9)	0.1
métaux sur bryophytes (8)	0.1
pesticides sur eau brute (37)	0.1
micro-polluants organiques hors pesticides sur eau brute (60)	0.1

Martin Seidl
2011

SEQ eau en pratique

Classes de qualité pour 3 altérations

Classe de qualité	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité	88	60	48	20	
Matières organiques et oxydables					
Oxygène dissous (mg/l)	8	6	4	3	
Taux sat. O2 (%)	90	70	50	30	
DBO5 (mg/lO2)	3	6	10	25	
DCO (mg/lO2)	20	30	40	80	
KMnO4 (mg/lO2)	3	5	8	10	
COD (mg/l C)	5	7	10	12	
NH4 (mg/l-NH4)	0,5	1,5	2,8	4	
NKJ (mg/l-N)	1	2	4	6	
Nitrates					
NO3- (mg/l NO3)	2	10	25	50	
Matières phosphorées					
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,2	0,5	1	
PO43- (mg/l PO4)	0,1	0,5	1	2	

Martin Seidl
2011

Le SEQ

- Une note de 0 à 100
- 5 classes de qualité
- Echelle d'aptitude (5 classes) par usage
- règle du paramètre déclassant
- répartition temporelle
- règle des 90%

Classe			SEQ
bleu	TB / excellente	1A	80-100
vert	Bonne	1B	60-80
jaune	Passable / médiocre	2	40-60
orange	Moyen / Mauvais	3	20-40
rouge	Très Mauvais	HC	0-20

Martin Seidl
2011

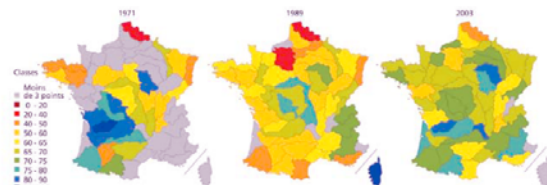
SEQ classes aptitudes

Classes d'aptitudes de l'eau					
	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
BIOLOGIE	Tous taxons présents	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
EAU POTABLE	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte
LOISIRS	Optimal		Acceptable		Inapte
IRRIGATION	Plantes très sensibles Tous sols	Plantes sensibles Tous sols	Plantes tolérantes Sols alc/neut	Plantes très tolérantes Sols alc/neut	Inapte
ABREUVAGE	Tous animaux		Animaux matures		Inapte

Martin Seidl
2011

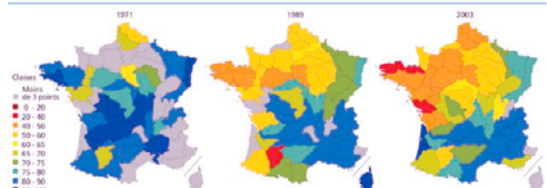
« SEQ eau »

Les matières azotées hors nitrates dans les cours d'eau – Situation géographique (bassin versant RNDE)



Paramètre	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Ammonium (mg/l NH ₄)	0,1	0,5	2	5
Azote Kjeldahl (mg/l N)	1	2	4	10
Nitrites (mg/l NO ₂)	0,03	0,3	0,5	1

Les nitrates dans les cours d'eau – Situation géographique (bassin versant RNDE)

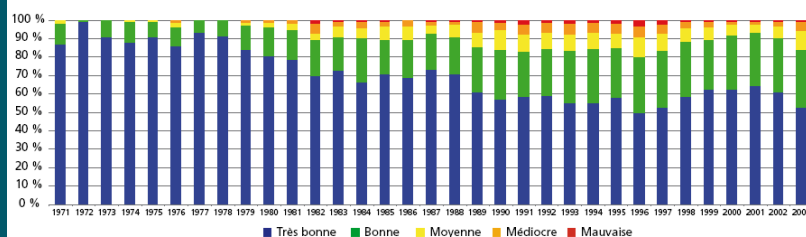


Paramètre	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Nitrates (mg/l NO ₃)	2	10	25	50

Note: La représentation par bassin versant RNDE a été réalisée à partir des moyennes des indices SEQ des points situés sur chacun des bassins versants. Les couleurs utilisées ne sont pas celles du SEQ-Eau.

Exemple de suivi qualité

L'effet des proliférations végétales dans les cours d'eau : répartition des points de mesure par classe de qualité



Paramètre	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Algues (unité/ml)	50	2 500	50 000	500 000
Chlorophylle a + Phéopigments (µg/l)	10	60	120	240

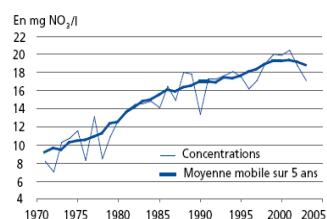
Exemple de suivi qualité

Nitrates agricoles : l'amorce d'une stabilisation

Les nitrates progressent régulièrement depuis 1971 et semblent se stabiliser. Les concentrations annuelles des nitrates dans 42 bassins agricoles^a suivis depuis 1971 (répartis sur toute la France, hormis le Nord et le Sud-Est) n'ont globalement pas augmenté depuis 1999. Elles sont d'environ 20 mg/l contre 12 mg/l pour les bassins urbains^b et 3 mg/l pour les bassins faiblement impactés^c. Les mesures de qualité ultérieures devraient permettre de confirmer ou d'infirmer cette tendance. Ces résultats sont globaux et peuvent masquer une grande variabilité locale selon les cultures et les pratiques agricoles.

a – Plus de 50 % d'agriculture intensive et moins de 50 hab./km².
b – Moins de 50 % d'agriculture intensive et plus de 75 hab./km².
c – Moins de 25 % d'agriculture intensive et moins de 40 hab./km².

Les concentrations en nitrates en aval des bassins versants agricoles



Note : Bien que leur suivi soit irrégulier de 1971 à 1996, l'ensemble des 42 bassins versants bénéficient d'un suivi annuel depuis 1997.

Source : agence de l'Eau – CORINE Land Cover – Traitements Ifen.

Exemple de suivi qualité

La contamination par les substances prioritaires de la directive-cadre sur l'eau en 2004

Données 2004	Nombre de points de recherche		Taux de recherche*		Nombre d'analyses		Taux de quantification**	
	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes
Alachlore	1 703	5 037	75,7 %	60,9 %	9 201	7 431	3,4 %	0,2 %
Atrazine	2 160	8 091	96,0 %	97,8 %	11 903	12 819	3,2 %	26,8 %
Chlorfenvinphos	918	1 004	40,8 %	12,1 %	5 649	1 765	0,1 %	0,0 %
Chlorpyrifos-éthyl	1 125	2 698	50,0 %	32,6 %	6 390	3 980	0,3 %	0,1 %
Diuron	1 915	7 083	85,1 %	85,6 %	10 729	10 578	34,0 %	3,4 %
Endosulfan alpha	1 206	3 719	53,6 %	44,9 %	6 941	5 451	0,8 %	0,0 %
Lindane	1 700	5 966	75,6 %	72,1 %	8 989	8 610	4,5 %	0,3 %
Isoproturon	1 810	6 948	80,5 %	84,0 %	10 101	10 332	18,5 %	1,2 %
Simazine	2 113	7 638	94,0 %	92,3 %	11 560	12 052	6,1 %	5,6 %
Trifluraline	1 364	3 719	60,6 %	44,9 %	8 098	5 788	0,8 %	0,1 %

* Taux de recherche : pourcentage de stations sur lesquelles la substance est recherchée.

** Taux de quantification : pourcentage des analyses de la substance où celle-ci est quantifiée.

Note de lecture : l'alachlore est recherchée sur 1 703 points, soit 75,7 % de l'ensemble des stations de mesure dans les eaux superficielles. 9 201 analyses ont été effectuées et 3,4 % d'entre elles ont eu des valeurs supérieures à la limite de quantification.

...

[retour sommaire](#)

Martin Seidl
2011

43