



Deuxièmes Plans de gestion

Document d'accompagnement

GWMethodologies_ gwMethodologiesChemicalClassificationReference

Méthodologies relatives à la classification de l'état chimique des masses d'eau souterraine, à l'évaluation des tendances à la hausse et du renversement de tendance

Septembre 2016

Table des matières

1	<u>CLASSIFICATION DE L'ÉTAT CHIMIQUE DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE</u>	3
1.1	VALEURS SEUILS APPLICABLES AUX EAUX SOUTERRAINES EN WALLONIE	3
1.2	FOND GEOCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES	4
1.3	SYSTEME D'EVALUATION DE L'ETAT CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES – SEQ-ESo	5
1.3.1	LES FONCTIONS OU USAGES DE L'EAU.	5
1.3.2	LES ALTERATIONS	6
1.3.3	LES SEUILS DE QUALITE	6
1.3.4	L'APPRECIATION GENERALE DE LA QUALITE EN UN POINT.....	8
1.3.5	ETAT CHIMIQUE D'UNE MASSE D'EAU SOUTERRAINE.....	9
2	<u>EVALUATION DES TENDANCES À LA HAUSSE ET INVERSIONS DE TENDANCE</u>	11
2.1	PRINCIPES	11
2.2	METHODE STATISTIQUE D'ANALYSE DE TENDANCE	11
3	<u>ANNEXE : RAPPORT DE L'ÉTUDE CONCERNANT LA MISE AU POINT DE LA MÉTHODE STATISTIQUE D'ANALYSE DE TENDANCE APPLIQUÉE AUX NITRATES (EPHÉSIA 2014)</u>	13

1 Classification de l'état chimique des masses d'eau souterraine

Le bon état chimique d'une masse d'eau souterraine doit répondre aux critères suivants :

- les changements de conductivité électrique de l'eau n'indiquent pas d'invasion d'eau salée ou autre dans la masse d'eau souterraine ;
- la composition chimique de la masse d'eau souterraine est telle que les concentrations de polluants n'empêchent pas l'atteinte des objectifs environnementaux fixés pour les eaux de surface associées, n'entraînent pas une diminution importante de la qualité écologique ou chimique des masses d'eau de surface associées et n'occasionnent pas de dommages importants aux écosystèmes terrestres qui dépendent directement de la masse d'eau souterraine ;
- la composition chimique, mesurée aux différents points du réseau principal de surveillance, est telle que les concentrations de polluants respectent les normes de qualité et les valeurs seuils.

1.1 Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines en Wallonie

Les valeurs seuils considérées pour ces deuxièmes plans de gestion sont identiques aux valeurs de critères fixées par le Gouvernement wallon, excepté pour le mercure qui, n'étant plus considéré comme polluant des eaux souterraines en Wallonie, ne doit plus être revêtu d'une valeur seuil.

Polluant	Normes de qualité
Nitrates	50 mg NO ₃ ⁻ /l
Substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents	0,1 µg/l (pour chaque molécule individuellement) 0,5 µg/l (au total)

Tableau 1 : Normes de qualité des eaux souterraines

Polluant	Critère prépondérant retenu pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines	Valeur seuil
Ammonium	Santé humaine (eau potable)	0,5 mg NH ₄ ⁺ /l
Arsenic	Santé humaine (eau potable)	10 µg/l*
Cadmium	Protection des écosystèmes	3µg/l
Chlorothalonil ESA (VIS-01)	Principe de précaution	1,5 µg/l
Chlorures	Principe de précaution	150 mg/l
Chlorure de vinyle	Protection des écosystèmes	0,25 µg/l
Chrome VI (hexavalent)	Santé humaine (eau potable)	9 µg/l
Cuivre	Protection des écosystèmes	100 µg/l
Cyanures (totaux)	Santé humaine (eau potable)	50 µg/l
1,2-dichloréthylène (cis + trans)	Principe de précaution	5 µg/l
2,6-dichlorobenzamide (BAM)	Principe de précaution	0,5 µg/l
Metazachlore ESA	Principe de précaution	1,5 µg/l
Methyl-terbutyl-ether (MTBE)	Principe de précaution	30 µg/l
Nickel	Santé humaine (eau potable)	20 µg/l*
Nitrates (pour les masses d'eau RWM100, RWR101, RWM102, RWM103)	Protection des écosystèmes	25 mg NO ₃ ⁻ /l
Nitrites	Santé humaine (eau potable)	0,1 mg NO ₂ ⁻ /l

Phosphore total	Protection des écosystèmes	1,15 mg P ₂ O ₅ /l
Phosphore total (pour les masses d'eau RWM100, RWR101, RWM102, RWM103)	Protection des écosystèmes (eutrophisation des cours d'eau)	0,46 mg P ₂ O ₅ /l
Plomb	Santé humaine (eau potable)	10 µg/l
Sulfates	Santé humaine (eau potable)	250 mg SO ₄ ²⁻ /l*
Trichloréthylène	Santé humaine (eau potable)	4 µg/l
Tétrachloréthylène	Santé humaine (eau potable)	4 µg/l
Zinc	Protection des écosystèmes	200 µg/l

Tableau 2 : Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines

Pour les paramètres notés *, la valeur seuil peut être majorée pour certaines masses d'eau souterraine pour tenir compte de la concentration de référence si celle-ci lui est supérieure. Les majorations nécessaires sont déduites des fonds géochimiques naturels recalculés pour les deuxièmes plans de gestions (voir ci-dessous point 1.2), et portent sur les paramètres sulfates (masses d'eau RWE160, VS = 400 mg/l et RWM073, VS = 500 mg/l), ammonium (masse d'eau RWE060, VS = 1,5 mg/l), nickel (masse d'eau RWM141, VS = 30 µg/l) et zinc (masse d'eau RWM141, VS = 300 µg/l).

1.2 Fond géochimiques des eaux souterraines

Sur base de données collectées pendant le premier Plan de Gestion, ainsi qu'une meilleure connaissance des aquifères, les concentrations de fond d'origine naturel par masse d'eau souterraine et par aquifère principal ont été calculés pour ces deuxièmes Plans de Gestion. Ces valeurs ont été utilisées notamment pour réévaluer certaines valeurs seuil comme décrit ci-dessus.

Le tableau suivant présente les concentrations de référence des métaux calculées pour chaque masse d'eau souterraine.

Concentrations de référence (fonds géochimiques) des masses d'eau souterraine		Chlorure	Sulfate	Cuivre	Zinc	Arsenic	Cadmium	Chrome	Nickel	Plomb	Ammon	
masse	Libellé_Aquifère	CV ->	150	250	100	200	10	3	50	20	10	0,5
CV ->	Sites	2201	2202	3503	3504	3601	3602	3603	3605	3606	3003	
E013	CALCAIRES DU BASSIN DE NAMUR (Tournaisis excepté)		42,50	171,18	<5 (LOQ)	49,78	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	4,82	<1 (LOQ)	
E030	CRAIES DU BASSIN DE MONS		89,65	206,04	10,58	64,79	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,11	6,50	<1 (LOQ)	
E031	CRAIES DU BASSIN DE MONS		115,28	286,50	10,76	59,69	2,42	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	5,31	3,33	
E032	CRAIES DU BASSIN DE MONS		64,20	139,59	15,78	21,15	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	3,00	4,58	1,64	
E051	SABLES BRUXELLIENS		61,07	91,69	<5 (LOQ)	24,00	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,57	<2 (LOQ)	<1 (LOQ)	
E053	SABLES DU LANDENIEN ET DE L'YPRESIEN		79,89	122,39	5,89	51,61	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,84	2,39	<1 (LOQ)	
E060	CALCAIRE CARBONIFERE DU TOURNAISIS		74,70	266,24	5,02	57,53	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	9,74	2,15	1,36
E061	SABLES DU LANDENIEN ET DE L'YPRESIEN		107,87	229,24	99,50	406,25	2,19	<0,25 (LOQ)	3,69	8,11	2,97	
E080	CRAIES CAPTIVES DU BRABANT (MAASTRICHTIEN)		69,55	92,96	5,17	75,06	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,05	2,81	<1 (LOQ)	
E160	CAMBRO-SILURIEN DU MASSIF DU BRABANT		167,45	410,44	6,40	89,23	3,09	<0,25 (LOQ)	3,56	13,38	1,04	
M011	CALCAIRES DU BASSIN DE NAMUR (Tournaisis excepté)		58,17	138,50	<5 (LOQ)	124,95	<2 (LOQ)	0,28	<2 (LOQ)	4,33	1,41	
M012	CALCAIRES DU BASSIN DE NAMUR (Tournaisis excepté)		97,80	85,27	8,25	148,39	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,24	4,06	2,43	
M021	CALCAIRES DU BASSIN DE DINANT		46,63	55,83	17,07	43,70	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	4,51	1,39	
M022	CALCAIRES DU BASSIN DE DINANT		42,00	60,32	26,83	48,12	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	2,64	<1 (LOQ)	
M023	MASSIF SCHISTO-GRESEUX DES BASSINS DE NAM,DIN,VEDRE		57,14	79,17	15,32	98,76	<2 (LOQ)	0,32	<2 (LOQ)	3,78	3,29	
M040	CRAIES DE HESBAYE		66,21	82,46	12,59	44,22	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	2,78	2,45	<1 (LOQ)	
M041	CRAIES DE HESBAYE		70,40	74,77	25,96	81,50	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	3,91	<2 (LOQ)	2,13	
M052	SABLES BRUXELLIENS		72,14	102,44	<5 (LOQ)	24,23	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	4,64	6,99	<1 (LOQ)	
M071	THALWEGS ET TERRASSES DE MEUSE ET AFFLUENTS		40,00	56,86	<5 (LOQ)	<20 (LOQ)	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	<2 (LOQ)	<1 (LOQ)	
M072	THALWEGS ET TERRASSES DE MEUSE ET AFFLUENTS		66,73	146,00	9,19	57,02	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	2,76	<1 (LOQ)	
M073	THALWEGS ET TERRASSES DE MEUSE ET AFFLUENTS		196,45	511,98	6,30	186,30	5,17	0,28	2,04	14,76	4,05	
M091	TRIAS		21,19	54,35	<5 (LOQ)	68,46	5,20	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	3,64	2,09	
M092	SINEMURIEN		21,40	29,50	<5 (LOQ)	<20 (LOQ)	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	<2 (LOQ)	<1 (LOQ)	
M093	BAJOCIEN ET DOMERIEN		19,83	50,99	<5 (LOQ)	23,52	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	<2 (LOQ)	<1 (LOQ)	
M094	BAJOCIEN ET DOMERIEN		10,82	34,20	<5 (LOQ)	27,35	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	3,41	1,36	
M100	CAMBRO-SILURIEN DE L'ARDENNE +M200 et M300		20,91	15,80	19,51	73,93	2,95	0,35	<2 (LOQ)	12,44	1,67	
M102	MASSIF SCHISTO-GRESEUX DE L'ARDENNE		52,24	10,69	17,86	99,75	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	13,53	1,13	
M103	CAMBRO-SILURIEN DE L'ARDENNE		21,47	29,00	<5 (LOQ)	20,77	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	12,95	1,17	
M141	CALCAIRES DU MASSIF DE LA VESDRE (GUEULE)		27,44	89,61	76,87	319,24	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	34,64	2,44	
M142	MASSIF SCHISTO-GRESEUX DES BASSINS DE NAM,DIN,VEDRE		33,39	77,52	16,07	218,93	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	2,57	1,12	
M151	CRETACE DU PAYS DE HERVE		34,00	56,29	13,48	87,71	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	3,59	1,68	
R092	SINEMURIEN		33,13	34,78	<5 (LOQ)	<20 (LOQ)	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	<2 (LOQ)	1,73	
R101	MASSIF SCHISTO-GRESEUX DE L'ARDENNE		39,52	21,79	8,47	40,58	<2 (LOQ)	<0,25 (LOQ)	<2 (LOQ)	11,76	1,64	
	Limites de quantification		1,00	5,00	5,00	20,00	2,00	0,25	2,00	2,00	1,00	0,05

Tableau 3 : Concentrations de référence calculées pour chaque masse d'eau souterraine

1.3 Système d'évaluation de l'état chimique des eaux souterraines – SEQ-ESo

La règle générale pour évaluer l'état chimique d'une masse d'eau souterraine est la suivante : celle-ci sera jugée en bon état si elle respecte tous les critères énoncés ci-dessus et, en particulier, si tous les sites de surveillance officiels (réseau DCE) de la masse d'eau sont conformes aux normes de qualité et aux valeurs-seuils. Dans le cas contraire, elle pourra également être classée en bon état si une investigation appropriée démontre que le non respect des critères constaté dans certains sites n'impacte pas plus de 20 % de la superficie totale de la masse d'eau, ne compromet pas l'usage alimentaire de l'eau souterraine et n'induit pas de dommages significatifs pour des écosystèmes associés ou dépendants.

Dans la pratique, c'est le pourcentage (20%) de points de mesures impactés qui est pris en compte pour l'évaluation de l'état chimique. Cependant, étant donné que le réseau de surveillance de l'état chimique en Wallonie est relativement dense (2,4 sites de mesure par 100km² en moyenne sur l'ensemble du territoire et 3,2 sites de mesure par 100km² en moyenne dans les masses d'eau à risque) et est uniformément réparti sur l'ensemble des masses d'eau souterraines, il est considéré comme représentatif de l'ensemble de ces masses d'eau. Dès lors, le pourcentage de points de mesures impactés peut-être assimilé au pourcentage de la superficie totale impactée de la masse d'eau souterraine.

Le **Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines – SEQ-ESo** – est l'outil de référence pour la caractérisation de la qualité des masses d'eau souterraine wallonnes. Cet outil, adapté par la Direction des eaux souterraines (SPW – DGO3 – DEE) et approuvé le 22 mai 2003 par le Gouvernement wallon, permet un diagnostic rapide et synthétique de l'état chimique de l'eau souterraine en prenant en compte toutes les incidences possibles de l'activité humaine et tous les usages possibles de l'eau.

Fondamentalement, le SEQ-ESo est, comme le SEQEAU français dont il s'inspire, une grille de lecture et d'interprétation d'un protocole d'analyse complet relatif à un point d'eau, reposant sur :

- l'examen parallèle des différents **usages** et fonctionnalités de l'eau souterraine ;
- la définition de **seuils** de qualité pour chaque paramètre envisagé, autorisant jusqu'à 5 classes de qualité distinctes ;
- le regroupement des paramètres par familles appelées **altérations** sur lesquelles une appréciation globale est portée.

1.3.1 Les fonctions ou usages de l'eau.

L'une des difficultés dans l'évaluation de la qualité d'une eau souterraine réside dans le fait que cette notion est relative et qu'elle dépend des usages auxquels cette eau est destinée. Il n'existe pas a priori de qualité intrinsèque d'une eau mais des qualités d'eau qui permettent de satisfaire tel ou tel usage.

La qualité d'une eau brute souterraine est examinée par rapport à trois fonctions essentielles :

- 1) les usages de l'eau : la qualité de l'eau est définie par rapport aux normes ou besoins correspondants à différents usages. Le principal usage introduit dans le SEQ-ESo est l'**Aptitude à la Distribution de l'Eau (ADE)**, usage établi pour le prélèvement d'eau destinée à la distribution par réseau ; il s'agit de l'usage fondamental reconnu pour la Wallonie dont 80 % des eaux souterraines sont destinées à la production d'eau potable mais d'autres usages de l'eau tels l'industrie, l'énergie, l'irrigation et l'abreuvement peuvent également être évalués.
- 2) l'état patrimonial : celui-ci exprime le degré de dégradation d'une eau par rapport à un état quasi naturel ou au fond géochimique existant (métaux), du fait de la pression exercée par les activités socio-économiques sur les nappes, mais sans référence à un usage quelconque. Cette échelle de dégradation de la qualité est basée sur des paramètres indicateurs susceptibles de ne pas être présents à l'état naturel dans les eaux souterraines (micropolluants organiques et minéraux) ou clairement identifiés comme indicateurs d'altération d'origine humaine de la qualité de l'eau à partir de certains seuils de

concentration (nitrates, pesticides). La fonction correspondante introduite dans le SEQ-ESo, porte l'appellation **Etat PAtrimonial en W**allonie (**PAW**).

- 3) l'aptitude chimique des eaux souterraines à maintenir la diversité biologique dans les cours d'eau (BIO) : est la troisième fonction prise en compte pour satisfaire les besoins exprimés dans la Directive-cadre. Cette fonction reprend intégralement les 5 niveaux de qualité physico-chimique définis pour les cours d'eau par le système SEQEAU. Elle fait donc l'hypothèse d'une alimentation des cours d'eau à 100% par les eaux souterraines, ce qui doit bien entendu être relativisé et validé.

1.3.2 Les altérations

Fidèle au SEQEAU français, le système SEQ-ESo s'appuie sur la notion d'**altération**. Les altérations sont des groupes de paramètres chimiques de même nature ou de même effet permettant de décrire les types de dégradation de la qualité de l'eau. En Wallonie, les paramètres sont regroupés en 6 altérations principales sur lesquelles une appréciation globale peut être portée :

- **Minéralisation** (1MIN) : chlorures, sulfates, [conductivité, pH, dureté totale, fluorures, sodium]
- **Macropollants** (2MAP) : **nitrites**, ammonium, phosphore total, [carbone organique total, oxydabilité, phosphates totaux, ortho-phosphates]
- **Nitrates** (2NO3)
- **Métaux** et autres micropolluants minéraux (4MPM) : plomb, cadmium, chrome hexavalent, nickel, cuivre, zinc, arsenic, cyanures totaux [antimoine, mercure, chrome, bore, selenium]
- **Pesticides** (5PES) : atrazine, déséthylatrazine, diuron, simazine, bromacile, isoproturon, chlortoluron, bentazone, metazachlore ESA, chlorothalonil ESA, dichlorobenzamide [métribuzin, MCPA, 2,4-D, chloridazon, métolachlore, terbutylazine]
- **Hydrocarbures** (6HCB) : trichloréthylène, tétrachloréthylène, MTBE, dichloréthylène, chlorure de vinyl, [HAP, benzène, benzo(a)pyrène]

Les paramètres repris entre [] sont parfois examinés en complément suivant l'analyse des pressions, mais leur faible occurrence n'a pas nécessité la fixation de valeurs seuils.

1.3.3 Les seuils de qualité

Pour chaque paramètre physico-chimique, différents seuils de qualité sont fixés, correspondant soit à des normes ou des valeurs guides existant dans la législation wallonne ou certains codes étrangers, soit à des jugements d'experts reposant sur l'état des techniques, la littérature ou la dispersion statistique des données disponibles. Ces seuils définissent des classes de qualité.

Le système SEQ-ESo permet de distinguer jusqu'à 5 classes de qualité (chacune matérialisée par une couleur), qui ont une définition précise pour chaque usage ou fonction. Les quatre seuils de qualité correspondants sont baptisés S1 (bleu/vert), S2 (vert/jaune), S3 (jaune/orange) et S4 (orange/rouge), et leurs correspondants¹ M1, M2, M3 et M4, lorsque le paramètre donne lieu à des seuils minimum.

1) Usage ADE :

Pour l'usage ADE, seuls 4 classes de qualité sont définies. Les 3 seuils correspondants sont établis sur base des valeurs suivantes (présentés pour différents paramètres au tableau 3) :

¹ Lorsque le paramètre donne lieu à des valeurs minimales à respecter (pH, dureté), les seuils correspondants sont introduits. Une classe de qualité peut alors comprendre 2 tranches de concentrations (une minimale et une maximale).

- ADE-S1 (bleu/vert) : correspond aux valeurs guides de la directive 80/778/CEE² ou, à défaut, à une valeur intermédiaire entre 0 et la norme de potabilité rencontrée par la plupart des eaux distribuées.
- ADE-S3 (vert/orange) : correspond, en règle générale, à la norme de potabilité. En effet, l'ADE n'utilise pas toujours les normes de potabilité au robinet du consommateur pour le seuil S3, mais éventuellement des valeurs déduites en tête des réseaux de distribution (pour les paramètres générés par les traitements de potabilisation et les paramètres générés significativement par les canalisations de distribution). C'est une particularité de la législation wallonne.
- ADE-S4³ (orange/rouge) : correspond aux valeurs guides de la directive 75/440/CEE⁴ (seuil ne représentant rien d'officiel pour la Région wallonne qui n'a jusqu'ici pas ressenti le besoin d'adapter cette directive aux eaux souterraines). A défaut de norme, ADE-S4 correspond à l'avis des spécialistes du traitement de potabilisation des eaux brutes souterraines ou au seuil équivalent pour les eaux de surface potabilisables.

ADE : Distribution d'eau potable	Seuils de qualité				
	Nitrates (mg/l)	Atrazine (ng/l)	Cuivre (mg/l)	Cadmium (mg/l)	Benzène (mg/l)
Eau de qualité optimale pour être consommée	25	50	50	1	0,5
Eau de qualité acceptable pour être consommée mais pouvant le cas échéant faire l'objet d'un traitement de désinfection	50	100	100	5	1
Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation	100	1000	1000	5	10
Eau inapte à la production d'eau potable					

Tableau 4 : Seuils ADE pour différents paramètres

2) Fonction PAW :

Pour la fonction PAW, 5 classes de qualité sont définies. Les 4 seuils correspondants sont établis sur base des valeurs suivantes (présentés pour différents paramètres au tableau 4) :

- PAW-S1 (bleu/vert) : correspond aux valeurs les plus proches de l'état naturel. En pratique, ce seuil équivaut à 10 mg/l pour les nitrates, à des limites de détection pour les paramètres organiques (limites revues en fonction des performances des laboratoires wallons) et aux valeurs de référence envisagées dans la phase d'élaboration du décret pour la protection des Sols⁵ sur base du fond géochimique naturel (toutes nappes confondues⁶) estimé en Région wallonne pour les micropolluants minéraux.
- PAW-S2 (vert/jaune) : est ajusté pour que l'ensemble S1, S2, S3, S4 corresponde le plus possible à une suite arithmétique ou géométrique selon le type de variations du polluant.

² Directive du Conseil des Communautés européennes du 17 juillet 1980 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

³ En ADE, le seuil S3 et donc la classe de qualité moyenne n'existent pas.

⁴ Directive du Conseil des Communautés européennes du 16 juin 1975 concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire.

⁵ Décret du 1er avril 2004 relatif à l'assainissement des sols pollués et aux sites d'activités économiques à réhabiliter (Moniteur belge du 7 juin 2004 –Ed. 2).

⁶ En effet l'examen de l'ensemble des données chimiques existantes indique que les rares aquifères qui dérogent naturellement au seuil PAW-S1 restent statistiquement de bonne qualité (seuil PAW-S2 non atteint) et qu'il n'est donc pas indispensable d'établir un bruit de fond par aquifère.

- PAW-S3 (jaune/orange) : conformément au projet de directive européenne sur la protection des eaux souterraines contre la pollution, il y a lieu de définir un seuil dit d'action ou de point de départ des inversions de tendances à réaliser en vertu de la directive-cadre de l'eau. Ce seuil d'action ne peut en aucun cas être supérieur à 75% de la norme communautaire envisagée par le texte en discussion (50 mg/l pour les nitrates et 0,1 µg/l pour les pesticides) ou à la valeur seuil de bonne qualité des eaux souterraines à établir par la Wallonie pour fin 2005 (lesquelles sont par définition ADE-S2). Il est donc proposé d'établir dans un premier temps le PAW-S3 à 75% du niveau ADE-S2.
- PAW-S4 (orange/rouge) : correspond au seuil d'intervention. Une distinction a été opérée entre les polluants diffus ou répétés dans l'espace (nitrates et pesticides) et les polluants ponctuels (hydrocarbures et métaux lourds essentiellement) ; pour les micropolluants minéraux, c'est la valeur d'intervention pour assainissement $V_{i\text{nappe}}$ du décret SOLS qui a été introduite, valeur basée sur des critères de mobilité des polluants dans la nappe, de santé humaine et d'éco-toxicité.

PAW : Etat patrimonial	Seuils de qualité				
	Nitrates (mg/l)	Atrazine (ng/l)	Cuivre (mg/l)	Cadmium (mg/l)	Benzène (mg/l)
Classes de qualité					
Eau dont la composition est naturelle ou "sub-naturelle". Valeurs de référence VR ("fond géochimique" ou limite de détection).	10	25	15	0,25	0,25
Eau de composition proche de l'état naturel, mais détection d'une contamination d'origine anthropique.	25	50	40	1	0,5
Dégradation significative par rapport à l'état naturel. Valeurs-seuils des études de risque VS_{nappe} .	37,5	75	75	3,75	0,75
Dégradation importante par rapport à l'état naturel. Valeurs d'intervention pour assainissement $V_{i\text{nappe}}$.	50	100	200	20	4
Dégradation très importante par rapport à l'état naturel. Assainissement nécessaire.					

Tableau 5 : Seuils PAW pour différents paramètres.

1.3.4 L'appréciation générale de la qualité en un point

Un des intérêts majeurs du SEQ-ESo consiste à construire une échelle de la **Qualité Générale de l'eau en Wallonie (QGW)**, pour chaque paramètre; en combinant les seuils supérieurs relatifs à la production d'eau potable (ADE) et les seuils inférieurs relatifs à l'état patrimonial (PAW) (avec correctif éventuel pour les écosystèmes aquatiques).

5 classes de qualité sont alors définies et les seuils correspondants suivent le mécanisme de combinaison, illustré à la figure 1 dans le cas des nitrates, de la manière suivante :

- QGW-S1 : est égal à PAW-S1, ou à ADE-S1 si le paramètre n'existe pas en PAW.
- QGW-S2 : est égal à PAW-S2 ou à une valeur intermédiaire entre ADE-S1 et ADE-S3 si le paramètre n'existe pas en PAW.
- QGW-S3 : est égal à ADE-S3, la norme de potabilité (ou la valeur seuil), éventuellement ramenée à l'eau brute.
- QGW-S4 : est égal à ADE-S4, la valeur de référence de traitement, ou, pour les paramètres réputés intraitables, à PAW-S4, le seuil d'intervention. Pour les paramètres jugés à la fois non traitables et ne pouvant faire l'objet d'un assainissement (cas des minéraux solubles), ADE-S4 est maintenu en QGW-S4 et QGW-S3 est réduit à une valeur intermédiaire.

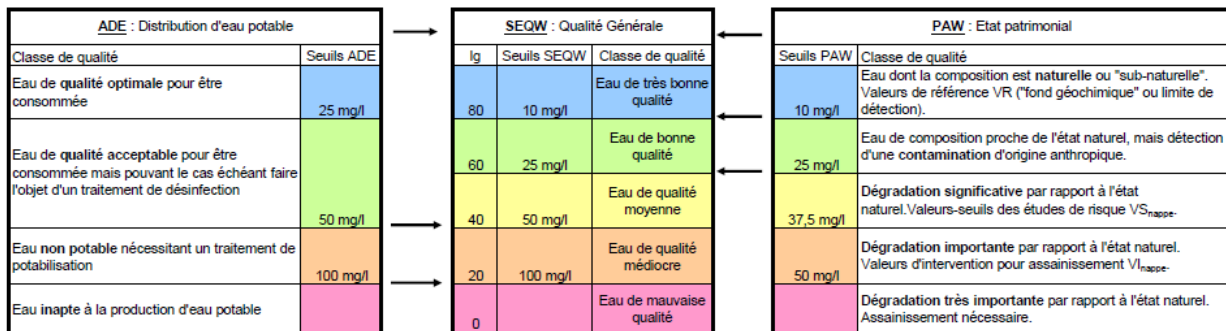


Figure 1 : Mécanisme de combinaison de l'aptitude à la distribution d'eau (ADE) et de l'état patrimonial (PAW) pour en dériver la qualité générale (QGW) : cas des nitrates.

Pour chacun des paramètres envisagés, la concentration des valeurs mesurées est transformée en un indice continu adimensionnel (dont l'échelle varie entre 0 et 100), appelé **indice général de qualité**, et ce grâce à un modèle simple d'interpolation entre la concentration nulle ou optimale (indice 100), les quatre seuils retenus en QGW et une concentration infinie (indice 0). La figure 2 en donne deux exemples.

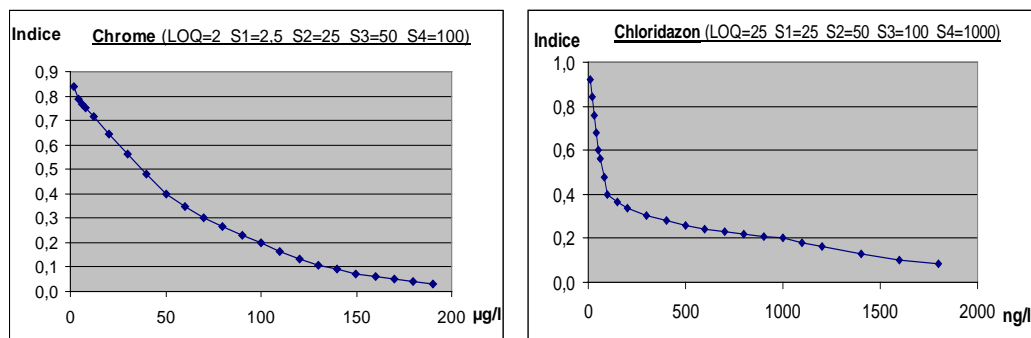


Figure 2 : exemples de relations concentration-indice général de qualité.

Chacun des paramètres fait l'objet de la même procédure de calcul afin de déterminer, sur base de son indice, sa classe de qualité : très bonne (indice supérieur à 80), bonne (entre 60 et 80), moyenne (entre 40 et 60), médiocre (entre 20 et 40), mauvaise (inférieur à 20) ; les deux dernières correspondant à l'état médiocre de la DCE (soit un indice inférieur à 40, dont le seuil correspond aux normes de qualité ou aux valeurs seuils applicables aux eaux souterraines).

Ensuite l'indice global relatif à une altération est facilement calculé sur base de principe du paramètre limitant : il équivaut à l'indice minimal des paramètres qui composent l'altération.

L'indice général de qualité permet donc de définir la qualité générale d'un point d'eau. Il est dès lors possible de comparer 2 points d'eau entre eux ou de comparer l'impact de chacun des polluants,

1.3.5 Etat chimique d'une masse d'eau souterraine

Dans le but de répondre aux exigences de la Directive-cadre Eau, des développements supplémentaires ont été apportés, qui permettent de porter un jugement d'ensemble sur l'état chimique d'une masse d'eau souterraine.

Pour chacune des 6 altérations : un indice « moyen » pour l'ensemble de la masse d'eau considérée, est calculé à partir des indices de qualité générale de chaque site de surveillance, et ce à l'aide d'une moyenne conjonctive qui donne plus de poids aux indices faibles (résultats médiocres) qu'aux indices élevés (bons résultats). La moyenne conjonctive est réglée (puissance -5) pour donner un état médiocre à la masse d'eau lorsqu'au moins 20% des sites dépassent les normes de qualité ou les valeurs seuils (c'est-à-dire dont l'indice est inférieur à 40).

Les paramètres déclassants, responsables d'un état médiocre de la masse d'eau, sont précisés et leur origine est évoquée.

Pour terminer, rappelons que le SEQ-ESo n'est pas figé et doit au contraire être considéré comme un instrument évolutif. Depuis son premier développement, le travail a continué pour renforcer les critères pour certains paramètres en tenant compte, par exemple, du respect de la biodiversité dans les écosystèmes superficiels dépendants (à travers la prise en compte de la fonction BIO dans l'indice général de qualité).

2 Evaluation des tendances à la hausse et inversions de tendance

2.1 Principes

L'analyse de risque pour les masses d'eau souterraine n'est pas simple. Lorsque le polluant a atteint la nappe et que l'on dispose de suffisamment d'observations en un point, une analyse de tendance peut être menée pour autant que les phénomènes accumulateurs (augmentation de la concentration) ou atténuateurs (diminution de la concentration) liés au battement de la nappe soient isolés. Lorsque le polluant n'a pas atteint la nappe, il faut en plus évaluer le degré d'émission de la source (potentielle) de pollution, l'accumulation et donc le temps de transit du polluant dans le sous-sol non saturé, qui peut varier considérablement d'un cas à l'autre (de quelques mois à plusieurs dizaines d'années selon les caractéristiques du polluant et du sous-sol).

En pratique, les tendances sont évaluées :

- pour le nitrate et les pesticides, dans toutes les masses d'eau souterraine, de manière à détecter toute détérioration des masses d'eau en bon état ;
- pour tous les autres paramètres « à risque », uniquement dans les masses d'eau impactées par ces paramètres (lorsque, pour une altération donnée, le SEQ-ESo donne un état moyen – indice compris entre 40 et 60 – une analyse de tendance est systématiquement réalisée à l'échelle de la masse d'eau).

Pour le nitrate, l'évaluation des tendances par masse d'eau souterraine a été réalisée en utilisant une méthode statistique, mais également sur base de l'observation des séries chronologiques individuelles avec avis d'expert. La méthode statistique utilisée, développée fin 2014 par EPHESIA, a permis de déterminer les tendances des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et les ruptures de tendance (avec identification du point de départ de l'inversion), pour plus de 900 séries chronologiques.

En ce qui concerne les pesticides et les autres paramètres « à risque » (ammonium, sulfates, phosphore, chlorures,...), l'analyse de tendance a été réalisée uniquement sur base de l'observation des séries chronologiques avec avis d'expert.

Le point de départ de la mise en œuvre de mesures visant à inverser des tendances à la hausse significatives et durables des concentrations en polluants correspond à une concentration qui équivaut au maximum à 75 % de la valeur des normes de qualité des eaux souterraines et des valeurs seuils fixées ci-dessus.

2.2 Méthode statistique d'analyse de tendance

Une méthodologie d'analyse de tendance purement statistique a été développée dans le cadre de l'application de la directive Nitrates 91/676/CEE pour être appliquée sur les séries chronologiques de concentrations en nitrate dans les eaux souterraines. Cette méthodologie permet d'extraire des conclusions de type statistique sur les éventuelles tendances. Afin de sélectionner le modèle adéquat et porter un jugement statistique sur la significativité d'une tendance :

- deux approches statistiques ont été croisées : à savoir la théorie statistique des tests d'hypothèses et la sélection de modèles par vraisemblance pénalisée ;
- deux cadres mathématiques faisant des hypothèses plus ou moins restrictives ont été appliqués : les cadres paramétrique et non paramétrique.

Cette méthodologie permet :

- de mettre en évidence un éventuel renversement de tendance (modèle avec rupture de pente et imposition de la continuité à la date de rupture).
- dans le cadre paramétrique (et uniquement dans ce cadre), de filtrer l'effet des fluctuations du niveau de l'eau souterraine sur les concentrations en nitrate, lorsque des données piézométriques sont disponibles au droit du site de mesure (ce qui est rarement le cas, surtout lorsque l'ouvrage est exploité).
- d'agréger les résultats par masse d'eau souterraine de manière à définir une tendance globale pour une masse d'eau donnée. Cependant, cette analyse fait une hypothèse implicite d'indépendance entre les différentes séries chronologiques au sein d'une masse d'eau souterraine, ce qui n'est pas nécessairement le cas.

La méthode statistique est détaillée dans le rapport de D'Or et Allard (EPHESIA 2014). « Mise en évidence de tendances éventuelles sur les séries chronologiques présentées par les points de réseau de mesure wallon des eaux de surface et souterraines en ce qui concerne les nitrates », reprise en annexe ci-dessous.

Durant les 2^{èmes} Plans de gestion par districts hydrographiques, la méthode statistique sera développée, pour être appliquée à tous les polluants, groupes de polluants ou indicateurs de pollution observés dans les masses d'eau souterraine classées à risque, conformément à l'article R. 43ter – 5 et l'annexe XIV partie décrétable du Code de l'Eau.

3 Annexe : Rapport de l'étude concernant la mise au point de la méthode statistique d'analyse de tendance appliquée aux nitrates (Ephésia 2014)



**MISE EN EVIDENCE DE TENDANCES EVENTUELLES SUR LES
SERIES CHRONOLOGIQUES PRESENTEES PAR LES POINTS DU
RESEAU DE MESURE WALLON DES EAUX DE SURFACE ET
SOUTERRAINES EN CE QUI CONCERNE LES NITRATES**

Rapport final

Pour la

DIRECTION GENERALE DE L'AGRICULTURE,
DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT (DGO3)
DE LA
REGION WALLONNE

DEPARTEMENT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU (DEE)



VERSION FINALE

Novembre 2014

Mots clés : Séries chronologiques, nitrates, tendance, rupture.

Type de document: Rapport d'étude	Identification: RP DGO3 2014002	Destinataire : Société : SPW-DGO3-DEE Attention : Charles Hendrickx Réf. SPW : CAHIER SPECIAL DES CHARGES N° O3.09.00/2014/CH-02
Date: Novembre 2014	Auteurs : Dimitri D'Or et Denis Allard	

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	5
2. DONNEES	5
3. LES METHODES STATISTIQUES MOBILISEES.....	7
3.1 LES TESTS D'HYPOTHESES ET LEUR PRATIQUE.....	7
3.2 LA SELECTION DE MODELE : UNE APPROCHE ALTERNATIVE AUX TESTS USUELS.....	8
3.3 METHODES D'ESTIMATION POUR LE MODELE LINEAIRE M1	9
3.4 METHODES D'ESTIMATION POUR LE MODELE AVEC RUPTURE, M2.....	9
3.5 CORRELATION AVEC LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES	10
3.6 DETECTION DE DONNEES ISOLEES	11
3.7 DETECTION DES OUTLIERS.....	11
4. WORKFLOW DE L'ANALYSE PAR SERIE.....	12
5. AGREGATION DES RESULTATS PAR MASSE D'EAU SOUTERRAINE	14
5.1 ANALYSE PARAMETRIQUE	14
5.2 ANALYSE NON PARAMETRIQUE	14
5.3 REPRESENTATION AGREGEE DES PENTES.....	14
6. RESULTATS ET DISCUSSION POUR LES EAUX SOUTERRAINES.....	15
6.1 CLASSIFICATIONS DES RESULTATS	15
6.2 ANALYSE DES TENDANCES ET RUPTURES PAR SERIE CHRONOLOGIQUE	18
6.3 SYNTHESE POUR LE RESEAU NITRATES	19
6.4 ANALYSE DES TENDANCES ET RUPTURES PAR MASSE D'EAU	20
7. RESULTATS POUR LES EAUX DE SURFACE	21
8. RESULTATS POUR LES SORTIES DE MODELE EPIC.....	23
8.1 EAUX DE SURFACE	23
8.2 ZONE RACINAIRE.....	25
8.3 NAPPE DE BASE	26
9. CONCLUSIONS	28
10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	30
ANNEXE 1 – CARTES DE SYNTHÈSE DES EAUX SOUTERRAINES POUR TOUTE LA RÉGION WALLONNE	31
ANNEXE 2 – CARTES DE SYNTHÈSE DES SÉRIES MODÉLISÉES POUR TOUTE LA RÉGION WALLONNE	36
ANNEXE 3 – FICHES DE SYNTHÈSE PAR MASSE D'EAU	40
ANNEXE 3 – TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES EAUX DE SURFACE	107
ANNEXE 4 – TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES (EAUX DE SURFACE)	111
ANNEXE 5 – TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES (ZONE RACINAIRE)	115
ANNEXE 6 – TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES (NAPPE DE BASE)	119

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOGIGRAMME DU WORKFLOW D'ANALYSE DES SERIES CHRONOLOGIQUES.	13
FIGURE 2 : CLASSIFICATION POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES D'EAU SOUTERRAINES. LES COULEURS SONT UTILISEES POUR FACILITER LA LECTURE DES CARTES.	16
FIGURE 3 : CLASSIFICATION POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES D'EAU DE SURFACE. LES COULEURS SONT UTILISEES POUR FACILITER LA LECTURE DES CARTES.	17
FIGURE 4 : DIAGRAMME DE DISPERSION ENTRE LES PENTES PARAMETRIQUES ET NON PARAMETRIQUES AGREGÉES. CHAQUE POINT REPRESENTÉ UNE MASSE D'EAU. LA TAILLE DES POINTS EST PROPORTIONNELLE AU NOMBRE DE SERIES CHRONOLOGIQUES ANALYSEES POUR LA MASSE D'EAU EN QUESTION.....	20
FIGURE 5 : SYNTHÈSE DES TENDANCES POUR LES EAUX DE SURFACE A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE.	22
FIGURE 6 : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES (A GAUCHE) ET DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2 (A DROITE) POUR LES EAUX DE SURFACE.	22
FIGURE 7 : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES (A GAUCHE) ET DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2 (A DROITE) POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LES EAUX DE SURFACE.	24
FIGURE 8 : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES (A GAUCHE) ET DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2 (A DROITE) POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LA ZONE RACINAIRE.	26
FIGURE 9 : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES (A GAUCHE) ET DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2 (A DROITE) POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LA NAPPE DE BASE.	27
FIGURE 10 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LE RESEAU DCE.	32
FIGURE 11 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LE RESEAU DCE : A DROITE : HISTOGRAMME DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2. A GAUCHE : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES POUR LES MODELES M1 ET M2 AVEC IDENTIFICATION DU TYPE DE MODELE. ...	33
FIGURE 12 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LE RESEAU NITRATES.	34
FIGURE 13 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LE RESEAU NITRATES : A DROITE : HISTOGRAMME DES DATES DE RUPTURE POUR LES MODELES M2. A GAUCHE : HISTOGRAMME DES DERNIÈRES PENTES POUR LES MODELES M1 ET M2 AVEC IDENTIFICATION DU TYPE DE MODELE. ...	35
FIGURE 14 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LES SERIES MODELISEES – EAUX DE SURFACE.....	37
FIGURE 15 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LES SERIES MODELISEES – ZONE RACINAIRE.	38
FIGURE 16 : SYNTHÈSE DES TENDANCES A L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE POUR LES SERIES MODELISEES – NAPPE DE BASE.....	39

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CLASSIFICATION DES RESULTATS DE LA SELECTION DE MODELES POUR LES EAUX SOUTERRAINES.	16
TABLEAU 2 : CLASSIFICATION DES RESULTATS DE LA SELECTION DE MODELES POUR LES EAUX DE SURFACE.	17
TABLEAU 3 : CLASSIFICATION DES RESULTATS DE LA SELECTION DE MODELES POUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES ISSUES DE LA MODELISATION.....	18
TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES D'EAU SOUTERRAINE DU RESEAU DCE SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.	19
TABLEAU 5 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES D'EAU SOUTERRAINE DU RESEAU NITRATES SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.	20
TABLEAU 6 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES D'EAU DE SURFACE SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.	21
TABLEAU 7 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LES EAUX DE SURFACE SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.	24
TABLEAU 8 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LA ZONE RACINAIRE SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.....	25
TABLEAU 9 : SYNTHÈSE DES MODELES AJUSTES SUR LES SERIES CHRONOLOGIQUES MODELISEES POUR LA NAPPE DE BASE SUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION WALLONNE.	27

1. INTRODUCTION

La Commission européenne a récemment adressé au Service Public de Wallonie une mise en demeure concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles.

Dans ce contexte, la Région wallonne souhaite faire réexaminer les données de concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et dans les eaux de surfaces afin de mettre en évidence d'éventuelles tendances ainsi que des ruptures de tendance sur les séries chronologiques de mesures de concentration en nitrates.

Une analyse préliminaire a été réalisée précédemment (D'Or et Allard, 2014) et a permis d'élaborer un workflow et de le tester sur une sélection de séries chronologiques supposées représenter la diversité des situations rencontrées.

L'objectif de ce rapport est d'étendre l'analyse aux séries chronologiques disponibles pour 986 sites pour les eaux souterraines, 55 sites pour les eaux de surfaces et 158 séries issues de modélisation du transfert des nitrates vers les nappes (65 correspondant aux eaux de surface, 65 à la zone racinaire et 28 au niveau de la nappe de base).

Les 986 séries correspondant aux eaux souterraines sont réparties en 33 masses d'eau. Une analyse globale par masse d'eau est également réalisée en agrégeant les données de toutes les séries chronologiques qui en font partie.

Cette étude est purement statistique et ne cherche pas à proposer des interprétations hydrogéologiques. L'objectif est de porter un regard purement quantitatif, le plus objectif possible, sur les séries mesurées et d'en extraire des conclusions de type statistique sur les éventuelles tendances. Afin de sélectionner le modèle adéquat et porter un jugement statistique sur la significativité d'une tendance, nous croiserons deux approches statistiques, à savoir la théorie statistique des tests d'hypothèses et la sélection de modèles par vraisemblance pénalisée, et deux cadres mathématiques faisant des d'hypothèses plus ou moins restrictives : les cadres paramétrique et non paramétrique. Nous proposons également une solution permettant de filtrer l'effet de la hauteur d'eau de la nappe lorsque des données piézométriques sont disponibles. En amont de toute analyse, nous proposons d'éliminer de l'analyse les éventuels outliers par une procédure automatisée.

2. DONNEES

Les données utilisées pour cette analyse ont été fournies par la DG03 dans les fichiers suivants :

1. Pour les eaux souterraines :

- Les fichiers suivants contiennent les caractéristiques des séries chronologiques à analyser :
 - *Sites_de_mesures_1erePARTIE_modif.xls*,
 - *Sites_de_mesures_2emePARTIE_modif.xlsx*,
 - *Sites_de_mesures_3emePARTIE_13oct2014.xlsx*,
 - *Sites_de_mesures_4emePARTIE_E013.xlsx*.
- Il y a ensuite 33 fichiers de type *ID_Masse_NO3.xlsx* où *ID_Masse* est l'identifiant de la masse d'eau (ex. E061) : chacun de ces fichiers contient une feuille par série chronologique, reprenant les dates de mesures, les concentrations en nitrates et éventuellement les cotes piézométriques.
- La classification en codes numériques et en codes couleur est définie dans le fichier *Tableau_croise_Concentration_Tendance_VF.xlsx*.

2. Pour les eaux de surface :

- *Sites_de_mesures_ESU.xls* : contient les caractéristiques des 55 séries chronologiques sélectionnées.
- *ESU_séries temporelles_NO3_2014.xlsx* : contient une feuille par série chronologique pour les 55 séries, prenant les dates de mesures et les concentrations en nitrates.

- La classification en codes numériques et en codes couleur est définie dans le fichier *Tableau_croise_Concentration_Tendance_ESU_VF.xlsx*.
3. Pour les séries issues de modélisation : les données fournies sont exprimées en unité relative à l'année de référence 1991.
- *EPIC_Nomenclature_bassinORI.xls* : (nom original du fichier fourni par le SPW : *Nomenclature_bassinORI.xlsx*) contient les caractéristiques des séries chronologiques issues d'une modélisation. Ce fichier contient les feuilles suivantes :
 - *Nomenclature ORI* : liste originale fournie par le SPW.
 - *Nappe_de_base* : reprend les séries pour lesquelles il existe une modélisation au niveau de la nappe de base.
 - *Zone_racinaire* : reprend les séries pour lesquelles il existe une modélisation au niveau de la zone racinaire.
 - *Eaux_de_surface* : reprend les séries pour lesquelles il existe une modélisation au niveau des eaux de surface.
 - *EPIC_Flux_NO3_eaux_de_surface_1971-2013.xlsx* : (nom original du fichier fourni par le SPW : *Flux_NO3_eaux_de_surface_1971-2013.xlsx*) contient une feuille par série chronologique pour 65 séries, reprenant l'année et la concentration en nitrates correspondante, modélisée dans les eaux de surface, pour la période de 1971 à 2013.
 - *EPIC_Concentration_NO3_nappe_de_base_1971-2013.xlsx* : (nom original du fichier fourni par le SPW : *Concentration_NO3_nappe_de_base_1971-2013.xlsx*) contient une feuille par série chronologique pour 28 séries, reprenant l'année et la concentration en nitrates correspondante, modélisée au niveau de la nappe de base, pour la période de 1971 à 2013.
 - *EPIC_Stock_azote_zone_racinaire_1971-2013.xlsx* : (nom original du fichier fourni par le SPW : *Stock_azote_zone_racinaire_1971-2013.xlsx*) contient une feuille par série chronologique pour 65 séries, reprenant l'année et la concentration en nitrates correspondante, modélisée au niveau de la zone racinaire, pour la période de 1971 à 2013.
4. Pour données cartographiques :
- *Coord_XY_RW.xlsx* : contient les coordonnées XY des limites de la Région Wallonne.

3. LES METHODES STATISTIQUES MOBILISEES

3.1 Les tests d'hypothèses et leur pratique

On rappelle qu'un test d'hypothèse est une démarche consistant à rejeter ou à ne pas rejeter une hypothèse statistique, appelée hypothèse nulle, en fonction d'un jeu de données (ici la série temporelle des teneurs en nitrates) en confrontant cette hypothèse nulle à une hypothèse dite alternative. A partir de calculs réalisés sur la série observée (les échantillons), nous émettons des conclusions sur l'évolution de la qualité de l'eau mesurée (la population), en leur rattachant des risques de se tromper. Les calculs sont menés en fonction du modèle statistique choisit. Un modèle statistique est un ensemble d'hypothèses mathématiques décrivant la distribution statistique de la population.

On parle de **tests paramétriques** lorsque l'on stipule que les données sont issues d'une distribution paramétrée. Dans ce cas, les caractéristiques des données peuvent être résumées à l'aide des paramètres estimés sur l'échantillon ; la procédure de test subséquente ne porte alors que sur ces paramètres. L'hypothèse de normalité sous-jacente des données est le plus souvent utilisée ; dans ce cas la moyenne et la variance suffisent pour caractériser complètement la distribution.

Les tests **non paramétriques** ne font aucune hypothèse sur la distribution sous-jacente des données. Pour ce faire, on transforme les valeurs en rang, et les tests se font sur des grandeurs calculées à partir de ces rangs. En ne faisant aucune hypothèse sur les distributions des données, les tests non paramétriques élargissent le champ d'application des procédures statistiques. En contrepartie, ils sont moins puissants que les tests paramétriques lorsque leurs hypothèses sont compatibles avec les données.

Pour mener un test statistique il faut :

1. Formuler une hypothèse neutre, parfois appelée hypothèse nulle, notée H_0 . En règle générale il s'agit d'une hypothèse d'absence de changement. Nous poserons tout au long de ce travail que **l'hypothèse neutre correspond à une teneur en Nitrate constante tout au long du temps**.
2. Formuler une hypothèse alternative, notée H_a . Nous avons fait le choix de poser que **l'hypothèse alternative est la présence d'un changement**, celui-ci étant à la diminution ou à l'augmentation. Lorsque l'hypothèse neutre sera rejetée en faveur de l'hypothèse alternative, nous associerons le signe de la variation au résultat du test. Nous considérerons deux modèles d'hypothèse alternative très différentes :
 - a. Le premier modèle, noté H_1 , consiste à faire l'hypothèse que l'espérance mathématique des teneurs en nitrates suit une évolution linéaire en fonction du temps : $E[N(t)] = a+bt$. Dans ce cas, tester H_0 contre H_a revient à tester $H_0 : b = 0$ contre $H_1 : b \neq 0$.
 - b. Le second modèle, noté H_2 , est plus riche. On considère qu'il existe une année de changement (appelée rupture, notée T) et que l'on observe deux évolutions linéaires avec des pentes différentes avant et après cette date. Dans ce modèle, on impose en outre la continuité de la courbe à la date de rupture. Ici, tester H_0 contre H_a revient à tester $H_0 : b_{avant} = b_{après} = 0$ contre $H_2 : b_{avant} \neq 0$ ou $b_{après} \neq 0$.

Notons $(t_i, Y_i)_{i=1, \dots, n}$ une série de n valeurs avec leur date de mesure associée. Nous écrivons :

$$Y_i = f(t_i) + \varepsilon_i$$

où les ε_i sont des variables aléatoires indépendantes d'espérance nulle. L'évolution temporelle est décrite par la fonction $f(t)$ qui prend les formes suivante selon les cas considérés :

H_0 : pas de changement	$f(t) = a$
H_1 : évolution linéaire	$f(t) = a + bt$
H_2 : deux évolutions linéaires, avec rupture en T	$f(t) = a + bt, t < T;$

$$f(t) = c + dt, t \geq T$$

3. Choisir un **niveau de confiance, noté $1-\alpha$** . La valeur α est la probabilité de rejeter à tort H_0 , alors que celle-ci est vraie. Le plus souvent on fait le choix $\alpha=0.05$.
4. Se donner un modèle statistique pour la distribution des données, permettant ainsi de calculer sous H_0 la probabilité de rejet (la p-valeur). Dans le cas d'un test paramétrique, nous choisissons de faire une hypothèse Gaussienne **pour la distribution des résidus**, c'est-à-dire que nous faisons l'hypothèse que les ε_i sont des variables aléatoires Gaussiennes indépendantes et identiquement distribuées, d'espérance nulle et de variance σ^2

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \text{ i.i.d.}$$

C'est l'hypothèse classique pour les tests paramétriques. Rappelons que dans le cas des tests non paramétriques, nous ne faisons aucune hypothèse sur les ε_i . Les calculs se font sur les rangs des valeurs.

Remarques

- Rejeter H_0 revient à considérer qu'il existe un changement jugé significatif, compte tenu des données observées ;
- Ne pas rejeter H_0 peut se produire soit parce qu'il n'y a effectivement pas de changement, soit parce que les données observées ne sont pas assez nombreuses pour établir que le changement est significatif.
- Nous pouvons également construire un test statistique visant à tester H_1 contre H_2 . La statistique de test utilisée est un rapport de somme de carrés. La procédure est détaillée dans le rapport "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results" (Grath *et al.*, 2001, p. 58-60).

3.2 La sélection de modèle : une approche alternative aux tests usuels

Nous proposons d'utiliser également une seconde approche. La théorie statistique qui permet de confronter des modèles concurrents, non nécessairement emboîtés est la sélection de modèle. Il s'agit de pénaliser la log-vraisemblance par un terme qui dépend du nombre de paramètres et du nombre de données. La justification de cette approche résulte de l'observation suivante : il est toujours possible d'augmenter la vraisemblance en augmentant les paramètres d'un modèle. Cela se fait au prix d'une augmentation de la complexité du modèle, qui risque alors le sur-ajustement. On constate empiriquement qu'un modèle sur-ajusté sera moins performant en prédiction sur un jeu de données différent du jeu de données ayant servi à l'ajustement du modèle. Un modèle sur-ajusté sera également moins performant en situation d'extrapolation, par exemple pour prédire l'évolution dans les années à venir. On pénalise alors la complexité d'un modèle par un terme qui dépend à la fois du nombre de paramètres et du nombre de données. Le critère BIC (Schwarz, 1978) est défini par :

$$BIC = -2 \ln L + p \ln n,$$

où L est la vraisemblance calculée à son maximum, p est le nombre de paramètres et n est le nombre de données. Entre deux modèles dont les paramètres sont estimés par maximum de vraisemblance, on doit choisir le modèle avec le BIC le plus faible. Toutes autres choses étant égales par ailleurs, BIC augmente avec la variance du résidu et avec le nombre de paramètres. Ainsi, un BIC plus faible est le signe d'un meilleur ajustement ou d'un nombre de paramètres plus faible, ou les deux. Dans les deux cas, le BIC le plus faible doit être privilégié. Dans l'approche par sélection de modèle, on ne parle pas de significativité, mais de « force de la preuve » (« strength of evidence » en anglais). D'après Kass and Raftery (1995), le poids de la preuve en faveur du modèle avec le BIC le plus faible peut s'interpréter de la façon suivante

Δ BIC	Force de la preuve
0 à 2	Simple mention
2 à 6	Positif
6 à 10	Fort
> 10	Très fort

Il est évidemment possible de comparer plus de deux modèles entre eux. Afin de pouvoir aisément distinguer la sélection de modèle des tests d'hypothèses, nous noterons M_0 , M_1 et M_2 les trois modèles statistiques correspondant aux hypothèses H_0 , H_1 et H_2 .

Il est important de souligner que la sélection de modèle par critère BIC nécessitant le calcul d'une vraisemblance, se fait nécessairement dans le cadre paramétrique.

3.3 Méthodes d'estimation pour le modèle linéaire M1

Cas paramétrique

Dans le cas paramétrique, on réalise l'estimation d'un modèle linéaire classique

$$Y_i = a + bt_i + \varepsilon_i,$$

pour lequel on obtient une estimation de la pente, de l'ordonnée à l'origine et des résidus. Dans le cadre habituel du modèle linéaire sur résidus Gaussien, on obtient également une p-valeur de la pente, et donc une statistique de test pour rejeter H_0 contre H_1 .

Cas non paramétrique

Dans le cas non paramétrique, on ne fait pas d'hypothèse sur la distribution de ε . Nous suivons la démarche préconisée dans le document du BRGM (Lopez *et al.*, 2013). Nous utiliserons le test robuste de Mann-Kendall pour tester un lien monotone entre les variables Y_i et t (Kendall, 1938, repris par Renard, 2006). Ce test est lié au coefficient de corrélation de Kendall. Il est basé sur les rangs des variables Y_i . L'idée générale est que si Y_i est une variable croissante, les rangs de la variable sont également croissants, indépendamment de la loi de croissance de Y (et inversement dans le cas où Y_i est décroissant). La pente du modèle M_1 est estimée selon la technique de Kendall-Theil, ou méthode de Sen (Sen, 1968 ; Helsel and Hirsch, 1992). L'estimation de la pente est la médiane de toutes les pentes calculées sur les $n(n-1)/2$ couples de points.

3.4 Méthodes d'estimation pour le modèle avec rupture, M2

Nous imposons au modèle M2 la continuité à la date de la rupture, à la différence de l'approche du BRGM qui, n'imposant pas cette continuité, aboutit à des modèles présentant un saut de discontinuité (potentiellement non négligeable) à la date de rupture.

Cas paramétrique

Pour toutes les dates de rupture possibles, on calcule la variance des résidus

$$\varepsilon_i = Y_i - \hat{f}(t_i)$$

où $\hat{f}(t_i)$ est l'estimation de Y_i par le modèle M_2 . La date de rupture retenue est celle ayant la variance des résidus la plus faible.

Cas non paramétrique

Pour toutes les dates de rupture possibles, on réalise une estimation robuste des pentes de la régression de part et d'autre de la date de rupture, à l'aide de la méthode de la ligne robuste décrite ci-dessus. L'analyse robuste ne fournissant que des pentes, nous recherchons l'ordonnée à l'origine qui minimise la somme des carrés des résidus. Nous recherchons ensuite la date de rupture qui minimise le carré des résidus entre la variable mesurée et celle prédite par le modèle M_2 ainsi ajusté.

Ces méthodes ne permettent pas de calculer une valeur BIC ou une p-valeur de M_2 contre M_1 , puisque nous n'avons pas de modèle pour calculer une vraisemblance. Le choix du modèle M_2 doit se faire sur la base de la significativité des pentes et d'un score SSR plus favorable.

3.5 Corrélation avec les hauteurs piézométriques

Sur certains ouvrages, la hauteur piézométrique est mesurée en même temps que la teneur en nitrate. Dans les formations crayeuses, notamment en Hesbaye, en pays de Herve et dans le pays de Mons, on observe des corrélations importantes entre teneur en nitrates et hauteur piézo, en particulier lorsque l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) est importante. Ce phénomène s'explique par un stockage de nitrate dans la ZNS, qui est remobilisé puis lessivé lorsque le niveau de la nappe remonte. A l'inverse, lorsque la nappe est basse, les nitrates restent stockés dans la ZNS. Lorsque c'est le cas, il peut s'avérer intéressant de filtrer l'effet de la hauteur d'eau pour analyser l'évolution tendancielle en nitrates. Nous suggérons de pratiquer les analyses par tests statistiques et par sélection de modèles après avoir retiré l'effet de la hauteur d'eau.

Estimation paramétrique

Dans le cadre paramétrique, nous construisons un modèle linéaire multivarié dans lequel intervient également la cote piézométrique. Ainsi, nous écrivons

$$Y_i = f(t_i) + cZ_i + \varepsilon_i$$

où Z_i désigne la cote piézométrique et c est le coefficient de la régression de Y_i sur Z_i . Dans le cadre des modèles linéaires, nous pouvons tester la significativité du coefficient c ou, ce qui est équivalent, de la significativité du coefficient de corrélation linéaire entre Y_i et Z_i . En utilisant la régression multivariée¹ de Y sur (t, Z) , nous pouvons également calculer les valeurs des pentes des modèles M_1 et M_2 , ainsi que leur significativité en tenant compte de la présence de la variable Z .

Il faut souligner un point important : sur une série donnée, la cote piézométrique n'est pas connue pour chaque valeur mesurée de la teneur en nitrate : il existe des données manquantes. Le nombre de données permettant l'analyse statistique multivariée est inférieur au nombre de données utilisées pour une analyse (Y_i, t_i) . De ce fait, les modèles estimés avec ou sans la cote piézométriques ne sont pas directement comparables par leur BIC ou par la somme des carrés des résidus, SSR.

Estimation non paramétrique

Les méthodes non-paramétriques utilisées ici ne permettent pas l'utilisation d'une covariable. Aussi, l'analyse par les méthodes non paramétriques impose de travailler sans l'utilisation des cotes piézométriques.

¹ Cette analyse se fait en appelant la fonction **lm** dans **R**.

3.6 Détection de données isolées

Avant toute analyse, une étape de pre-processing est lancée afin de retirer de l'analyse certaines données isolées dans le temps. En effet, sur de nombreuses séries, on observe quelques mesures isolées, séparées des mesures plus récentes et plus régulières par une période de plusieurs années. Inclure ces données dans l'analyse aurait pu mener à des résultats statistiquement peu robustes. Il a donc été décidé de retirer de l'analyse les groupes ayant un nombre de mesures inférieur ou égale à 5 données, séparées d'au moins 4 années des autres mesures (ces valeurs peuvent être paramétrées et modifiées par l'utilisateur).

3.7 Détection des outliers

Après avoir retiré de l'analyse les données isolées temporellement, et avant de chercher à identifier des tendances et des ruptures sur les séries chronologiques, cette étape vise à identifier les outliers potentiels. En effet, ces points éloignés du reste des données peuvent avoir une influence importante sur les pentes estimées. La présence d'outliers entraîne également des statistiques de test en général très élevée, menant au rejet systématique de l'hypothèse nulle. Nous éliminerons donc des données qui s'écartent trop d'une évolution « normale ».

Sans cotes piézométriques

La procédure utilisée consistera à réaliser une régression non paramétrique robuste de Y_i contre t_i à l'aide la procédure LOESS dans R. Celle-ci, expliquée en détail dans Grath *et al.* (2001, p. 55-56) produit une estimation de la variance du bruit autour de la fonction de régression. On retirera des données servant à l'estimation et aux tests de tendance toutes les données se situant localement en dehors d'un intervalle de confiance à 99.5%, c'est-à-dire toutes les données Y_i telles que

$$Y_i \notin [\hat{Y}_i(t_i) - q\sigma_i; \hat{Y}_i(t_i) + q\sigma_i]$$

où q est le quantile associé à l'intervalle de confiance à 99.5%. L'intervalle à 99.5% a été choisi car il correspond au seuil conventionnel pour l'identification des outliers dans la représentation des boxplots. Il constitue un bon compromis entre taux de variations admissibles et taux d'élimination.

Avec cotes piézométriques

Lorsque les cotes piézométriques sont mesurées, la détection des outliers est modifiée de la façon suivante. La régression non paramétrique du filtre LOESS est bivariable, portant à la fois sur t_i et Z_i . On retirera les données se situant localement en dehors de l'intervalle de confiance issu de la prédiction bivariable.

Trois points importants sont à signaler :

1. La procédure ci-dessus ne peut pas fonctionner si la cote piézométrique est manquante. Dans ce cas, on réalise d'abord une prédiction de la cote piézométrique en fonction du temps, puis on utilise cette cote prédite pour calculer les enveloppes supérieures et inférieures de la valeur Y_i . Une donnée située en dehors de l'intervalle défini par ces enveloppes est considérée comme un outlier.
2. La représentation graphique (t_i, Y_i) ignore la valeur de la cote. De ce fait, les valeurs prédites de Y_i présentent des fluctuations importantes, liées aux variations de cote. Afin de produire un rendu visuel comparable à celui obtenu en absence de données piézométriques, on superpose une courbe dans laquelle les cotes piézométriques sont toutes remplacées par la moyenne des cotes mesurées. Ces valeurs ne sont utilisées que pour la représentation graphique et nullement pour le calcul des statistiques. Un point non considéré comme outlier (en bleu sur les figures) pourrait donc se trouver en dehors de l'enveloppe.
3. Les outliers statistiques seront intégrés dans les analyses non paramétriques. En effet, celles-ci sont par construction robustes à la présence d'outliers. Leur exclusion ne se justifie donc plus.

4. WORKFLOW DE L'ANALYSE PAR SERIE

Nous appliquons le workflow suivant à chaque série temporelle (Figure 1) :

1. Identification des données isolées temporellement

Les données isolées temporellement sont écartées de l'analyse.

2. Test sur le nombre de données disponibles

Si (Nombre de données non outlier ≤ 10), on arrête le workflow.

3. Détection des outliers statistiques

Les données considérées comme outliers *statistiques* sont identifiées pour les représentations graphiques. Elles ne participent pas à l'analyse statistique paramétrique ultérieure. Cette détection peut se faire avec ou sans l'utilisation de la cote piézométrique.

4. Analyse paramétrique

L'analyse paramétrique peut se faire avec ou sans l'utilisation de la cote piézométrique.

- On calcule les différentes régressions pour les modèles M_0 , M_1 et M_2
- On calcule les p-valeurs de H_0 contre H_1 et H_2 et la p-valeur de H_1 contre H_2 .
- On calcule les valeurs BIC pour les modèles M_0 , M_1 et M_2
- On sélectionne un modèle selon les critères exposés plus bas.
- On représente le modèle sélectionné par l'analyse

5. Test de normalité des résidus

Si (résidus Gaussiens), on arrête le workflow.

6. Si (résidus non Gaussiens)

Régression et tests non paramétriques

- On réintègre les outliers statistiques (mais pas les données isolées temporellement)
- On calcule les différentes régressions non paramétriques pour les modèles M_1 et M_2
- On calcule les p-valeurs de H_0 contre H_1 ; pour tester le modèle M_2 , on calcule les p-valeurs des deux pentes à l'aide du test de Mann-Kendall.
- On sélectionne un modèle sur base des critères exposés ci-dessous et on le représente graphiquement.

Pour la sélection de modèles, les règles suivantes sont utilisées :

1. Analyse paramétrique :

- Le modèle sélectionné est celui pour lequel le critère BIC est minimum.
- Si un modèle M_2 est sélectionné et que la différence sur le critère BIC entre les modèles M_1 et M_2 est inférieure à 2, ou que les deux pentes sont non significatives, le modèle le plus simple, M_1 , est conservé.
- Si un modèle M_1 est sélectionné et que la pente est non significative, on retombe sur un modèle M_0 .

2. Analyse non paramétrique :

- Le modèle sélectionné est celui pour lequel la Somme des Carrés des Résidus (SSR) est minimum.
- Si un modèle M_2 est sélectionné et que les deux pentes sont non significatives, le modèle le plus simple, M_1 , est conservé.
- Si un modèle M_1 est sélectionné et que la pente est non significative, on retombe sur un modèle M_0 .

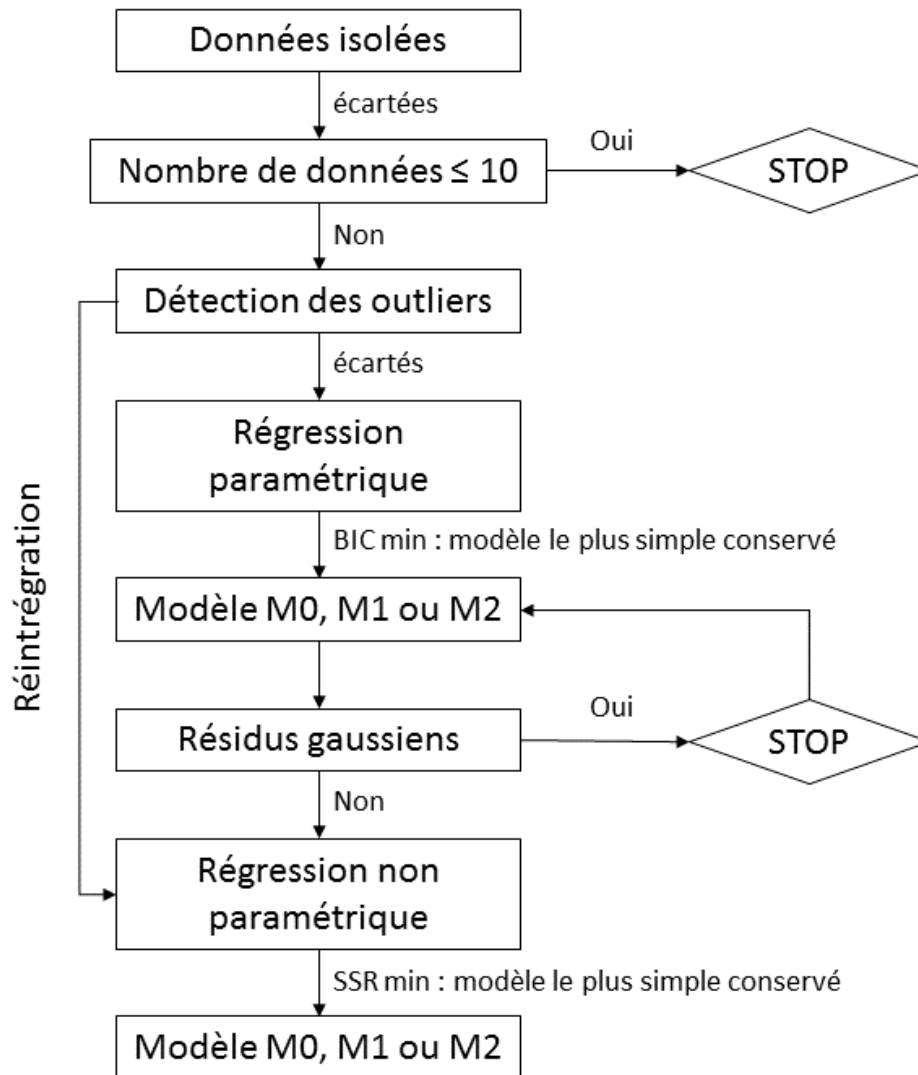


Figure 1 : Logigramme du workflow d'analyse des séries chronologiques.

5. AGREGATION DES RESULTATS PAR MASSE D'EAU SOUTERRAINE

Une analyse agrégée est réalisée sur chaque masse d'eau après exclusion des données isolées et des outliers de chaque série.

Cette analyse fait une hypothèse implicite d'indépendance entre les différentes séries chronologiques au sein d'une masse d'eau. La DCE se place dans le cadre de cette hypothèse ainsi que les différents rapports du BRGM établissant la méthodologie utilisée en France. Il en va de même dans de nombreux autres pays Européens. Nous nous plaçons également dans ce cadre. En statistiques spatiales, il est bien connu que les valeurs estimées sont relativement peu affectées par la prise en compte ou non des dépendances spatiales. En revanche, les variances d'estimation et toutes les grandeurs dérivées de ces variances (p-valeurs, tests de significativité, etc.) sont très fortement affectées. C'est pourquoi, conscients que les dépendances spatiales ne sont pas prises en compte, nous ne calculons pas les p-valeurs associées au calcul des pentes agrégées. Tenir compte de ces dépendances nécessiterait des développements nouveaux en statistiques pour les données spatio-temporelles qui dépassent de très loin le cadre du présent travail.

5.1 Analyse paramétrique

Les modèles M_0 , M_1 et M_2 sont ajustés sur l'ensemble des données. Comparée avec l'analyse réalisée pour une série particulière, cette analyse présente les différences suivantes :

- Les informations piézométriques sur les différents ouvrages (avec des données manquantes pour des dates différentes d'un ouvrage à l'autre), trop compliquées à prendre en compte dans ce cadre, ne sont pas prises en compte ici.
- Chaque série étant centrée autour de courbes différentes, les résidus mélangés ne peuvent pas suivre une distribution Gaussienne, mais au mieux une distribution qui serait un mélange de distributions Gaussiennes. Pour cette raison, on ne peut pas réaliser de test d'ajustement Gaussien sur les résidus de l'ajustement global.
- Pour cette raison, mais aussi à cause des possibles corrélations spatiales, on ne pourra utiliser ni les p-valeurs calculées sur les pentes ni le critère BIC pour sélectionner les modèles.
- La sélection du modèle se fait donc uniquement par le critère SSR (Sums of Squared Residuals). En cas d'égalité, le modèle le plus simple est retenu.

Un graphique représentant l'ensemble des séries et le modèle agrégé sélectionné est réalisé.

5.2 Analyse non paramétrique

Un ajustement non paramétrique est réalisé en appelant la fonction **loess**. Cette fonction calcule une régression polynomiale locale. Bien que localement paramétrique, le fait que la courbe finale soit le résultat d'une multitude de régressions locales transforme cette courbe finale en une fonction non paramétrique. Elle est par ailleurs réputée assez robuste. On obtient une pente (non paramétrique) actuelle à partir des positions de la courbe ajustée durant les quatre dernières années à la date de l'analyse, c'est-à-dire pour le présent rapport durant les années 2010-2013. Un graphique représentant l'ensemble des séries, puis l'ajustement **loess**, est réalisé.

5.3 Représentation agrégée des pentes

Une figure représentant le cross-plot entre les pentes paramétriques et non paramétriques calculé sur chacune des séries est représentée. Dans le cas où l'analyse non paramétrique n'est pas réalisée (car les résidus sont considérés Gaussiens), on la pose égale à l'analyse paramétrique. Les non-valeurs (NA dues à des séries trop courtes) sont exclues du graphique. Sur ce graphique, les cercles sont fonctions de la longueur de la série. Un code couleur indique si la teneur en Nitrate prédite par le

modèle est inférieure ou supérieure au seuil réglementaire de 50 mg/l en 2014. Les pentes agrégées sont également représentées.

Ces graphiques permettent de vérifier la concordance entre les ajustements paramétriques et non paramétriques, de visualiser la dispersion des pentes et de voir où se place le modèle agrégé par rapport aux séries individuelles. Grâce à l'utilisation d'un code couleur, il permet également de repérer immédiatement si les ouvrages ayant des mesures supérieures au seuil réglementaire ont une pente en 2014 négative ou positive.

6. RESULTATS ET DISCUSSION POUR LES EAUX SOUTERRAINES

Le workflow présenté à la Section 4 a été mis en œuvre sur les 986 séries chronologiques à analyser. Ces séries font toutes partie du réseau de mesures disponibles dans le cadre de la Directive Cadre Eau. Nous appellerons ce réseau le réseau DCE. Un sous-ensemble de ce réseau est également utilisé dans le cadre de la Directive Nitrates. Un réseau Nitrates est ainsi créé.

La Section 6.1 présente les différentes classifications utilisées pour interpréter les résultats. Les résultats de l'analyse des tendances et ruptures par série chronologiques sont montrés à la Section 6.2 pour le réseau DCE et à la Section 6.3 pour le réseau Nitrates. La section 6.4 présente les résultats par masse d'eau.

Au vu de la quantité de résultats produite, il s'avère impossible de les insérer toutes dans ce rapport. Les tableaux et figures sont donc fournis sur support informatique. Les sections suivantes en donnent les clés de lecture.

Les fichiers wmf sont lisibles par les logiciels Paint et Office Picture Manager, sous Windows NT, XP ou 7. Sous Windows 8, Office Picture Manager n'est plus disponible mais peut être remplacé par XnView disponible gratuitement sur <http://www.xnview.com/fr/>.

6.1 Classifications des résultats

Des classifications différentes sont utilisées pour les eaux souterraines et les eaux de surface d'un côté, et pour les séries issues de la modélisation de l'autre côté.

Classification pour les eaux souterraines et les eaux de surface

Pour représenter les différents cas de figures, une classification synthétique a été mise au point. Elle vise à informer simultanément sur la tendance (à la diminution ou à l'augmentation), sur le dépassement éventuel de la norme des 50 mg/l et sur le type de modèle (M0, M1 ou M2). La classification proposée comprend 35 classes. Les valeurs des limites sur les concentrations varient selon que l'on s'intéresse aux eaux souterraines (Figure 2) ou aux eaux de surface (Figure 3).












Les données fournies pour les eaux de surface sont exprimées en mg d'azote par litre (mg N/l) et pas en mg de nitrate par litre (mg NO₃/l). Pour éviter d'avoir des tableaux de classification pour les eaux de surface et les eaux souterraines qui n'emploient pas les mêmes unités, les limites de classe pour le tableau « eaux de surface » ont été fixées en mg NO₃/l. En conséquence, pour pouvoir utiliser la classification proposée, il faut multiplier les valeurs des données exprimées en mg N/l par un facteur de conversion égal à 4.425.

Pour la cartographie, afin d'augmenter la lisibilité, ces 35 classes sont regroupées en 6 couleurs. Le Tableau 1 et le Tableau 2 donnent les légendes des symboles utilisés pour les séries relatives aux eaux souterraines et aux eaux de surface respectivement. Dans la légende, le terme "Situation" fait référence à la position de la concentration en nitrates par rapport à la concentration en nitrates. La situation est dite favorable si la concentration est inférieure à la norme et défavorable si la concentration est supérieure à la norme. Le terme "Evolution" décrit, lui, la tendance. L'évolution est dite défavorable si la dernière pente du modèle est positive. Elle est dite favorable si cette pente est négative.

Concentration (mg/l)	Tendance à la diminution (en mg/l/an)			Tendance non significative	Tendance à l'augmentation (en mg/l/an)		
	-1,25	-0,25	0	0	0,25	1,25	
0	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Pas de Tendance	Concentration OK + Tendance NON min=160ans, max=5000ans moy=360 ans	Concentration OK + Tendance NON min=32ans, max=200ans moy=60 ans	Concentration OK + Tendance NON min=8ans, max=40ans moy=18ans
10	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Pas de Tendance	Concentration OK + Tendance NON min=100ans, max=4000ans moy=260 ans	Concentration OK + Tendance NON min=20ans, max=160ans moy=43 ans	Concentration OK + Tendance NON min=2ans, max=32ans moy=7 ans
25	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Pas de Tendance	Concentration OK + Tendance NON min=40ans, max=2500ans moy=140 ans	Concentration OK + Tendance NON min=8ans, max=100ans moy=23 ans	Concentration OK + Tendance NON min<1an, max=20ans moy=3 ans
40	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Tendance OK	Concentration OK + Pas de Tendance	Concentration OK + Tendance NON min<1an, max=1000ans moy=40 ans	Concentration OK + Tendance NON min<1an, max=40ans moy= 6 ans	Concentration OK + Tendance NON min<1an, max=8ans moy= 1an
50	Concentration NON + Tendance OK	Concentration NON + Tendance OK	Concentration NON + Tendance OK	Concentration NON + Pas de Tendance	Concentration NON + Tendance NON	Concentration NON + Tendance NON	Concentration NON + Tendance NON

Figure 2 : Classification pour les séries chronologiques d'eau souterraines. Les couleurs sont utilisées pour faciliter la lecture des cartes.

Tableau 1 : Classification des résultats de la sélection de modèles pour les eaux souterraines.

Niveau (code graphique)	Symbole	Qualificatif pour l'évolution
1		Situation et évolution favorables
2		Situation favorable et évolution légèrement défavorable
3		Situation favorable mais évolution défavorable
4		Situation favorable mais évolution très défavorable
5		Situation défavorable mais évolution favorable
6		Situation et évolution défavorables
Type d'analyse	 Analyse non paramétrique	 Série non analysée par manque de données
Type de modèle	 M0	 M1
		 M2

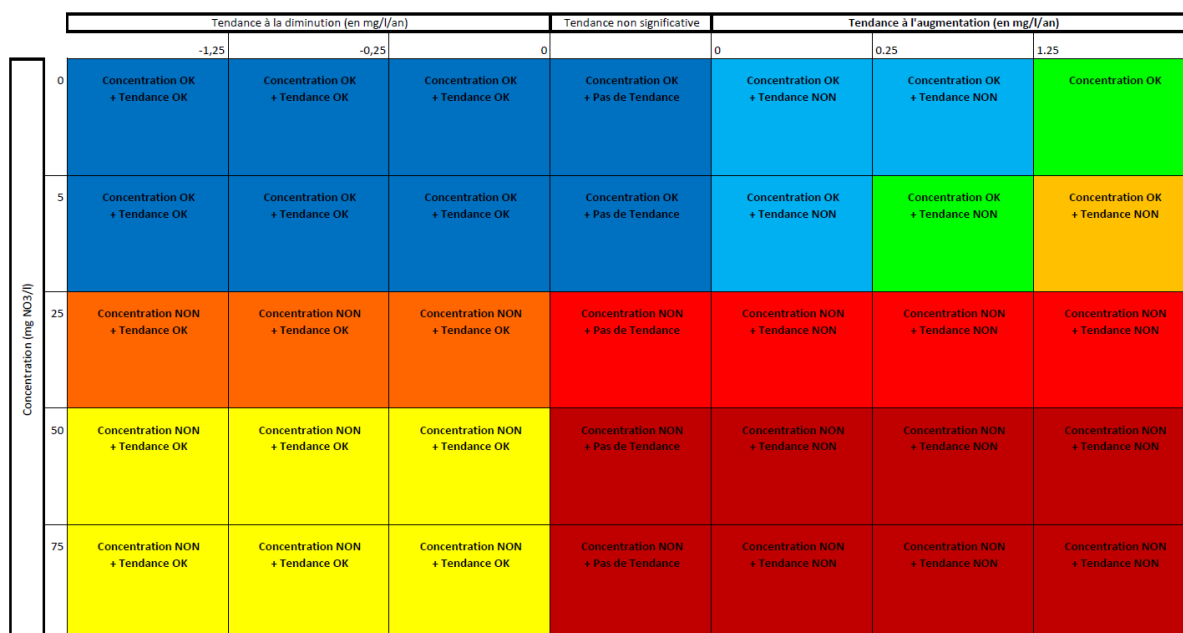















Figure 3 : Classification pour les séries chronologiques d'eau de surface. Les couleurs sont utilisées pour faciliter la lecture des cartes.










Tableau 2 : Classification des résultats de la sélection de modèles pour les eaux de surface.

Niveau (code graphique)	Symbole	Qualificatif pour l'évolution	
1		Situation et évolution favorables	
2		Situation favorable et évolution légèrement défavorable	
3		Situation favorable mais évolution défavorable	
4		Situation favorable mais évolution très défavorable	
5		Situation défavorable mais évolution favorable (par rapport à la directive 91/676/CE)	
6		Situation défavorable mais évolution favorable (par rapport à la directive 2000/60/CE)	
7		Situation et évolution défavorables (par rapport à la directive 2000/60/CE)	
8		Situation et évolution défavorables (par rapport à la directive 91/676/CE)	
Type d'analyse		Analyse non paramétrique	 Série non analysée par manque de données
Type de modèle		M0	 M1  M2

Classification pour les séries issues de la modélisation

Pour les séries issues de la modélisation, la classification est basée uniquement sur l'évolution. La légende est donnée au Tableau 3.

Tableau 3 : Classification des résultats de la sélection de modèles pour les séries chronologiques issues de la modélisation.

	Pas de tendance significative sur la période 1971 - 2013
	Tendance à la hausse sur toute la période 1971 - 2013
	Tendance à la baisse sur toute la période 1971 - 2013
Rupture de tendance au cours de la période 1971 - 2013 :	
	Tendance stable et puis à la hausse
	Tendance stable et puis à la baisse
	Tendance à la hausse et puis stable
	Tendance à la hausse et puis à la baisse
	Tendance à la baisse et puis à la hausse
xxxx correspond à l'année de rupture de tendance identifiée par le modèle statistique	
	Pas de valeurs

6.2 Analyse des tendances et ruptures par série chronologique

Les résultats de la procédure de sélection de modèle sont résumés dans les tableaux donnés dans les fichiers *SPW_NO3_Resultats_Masse_IDmasse.xlsx* où *IDmasse* est l'identifiant de la masse d'eau. La première feuille reprend tous les résultats bruts. Lorsqu'un modèle non paramétrique est sélectionné, le modèle paramétrique est également donné. Dans ce cas, seul le modèle non paramétrique est utilisé pour le calcul des statistiques et les cartographies, tel que disponible dans la feuille "Resume", qui contient les résultats remis en forme.

La colonne "intercept date min" (resp. "intercept date max") donne la valeur de la concentration en nitrates estimée par le modèle au début (resp. à la fin) de la période de mesures. Les colonnes "estim 2013", "estim 2015", "estim 2021" et "estim 2027" donnent respectivement les estimations au 31 décembre 2013, 2015, 2021 et 2027. Les colonnes "proba dépassement 2015", "proba dépassement 2021" et "proba dépassement 2027" donnent respectivement la probabilité de dépasser la norme de 50 mg/l au 31 décembre 2015, 2021 et 2027. Les colonnes avec les p-valeurs donnent les résultats des tests statistiques.

La **p-valeur** est définie comme la probabilité d'obtenir la même valeur pour la statistique de test ou une valeur encore plus extrême si l'hypothèse nulle était vraie. Plus cette valeur est faible, moins vraisemblable est l'hypothèse nulle.

Les figures sont données dans le répertoire *Witrates\Programmes\R\figures\Masses\IDmasse* où *IDmasse* est l'identifiant de la masse d'eau. La nomenclature est la suivante :

- *Hist_Residus_Serie_IDserie.wmf* montre l'histogramme des résidus.
- *Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle non paramétrique ajusté. Si un tel fichier existe pour une série, c'est lui qui contient le meilleur modèle. Dans le cas contraire, le modèle sélectionné est paramétrique.
- *Modele_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle paramétrique sélectionné. Il est le meilleur modèle ajusté dans le cas où il n'existe pas de fichier *Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* pour la même série.

- *Modeles_NP_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles non paramétriques (M0, M1 et M2). Ce fichier n'existe que si une analyse non paramétrique a été réalisée.
- *Modeles_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles paramétriques (M0, M1 et M2).
- *Outliers_q_5_Serie_IDserie.wmf* montre la série avec identification des outliers.

Pour avoir une vue d'ensemble de la situation, une carte globale à l'échelle de la Wallonie est proposée à l'Annexe 1 (Figure 10). La Figure 11 montre l'histogramme des dates de rupture (à gauche) et celui des dernières pentes du modèle (à droite). Le Tableau 4 résume le nombre de séries chronologiques affectées à chaque catégorie. On peut y relever les observations suivantes :

- 144 séries chronologiques n'ont pu être analysées faute d'un nombre suffisant de données.
- Aucune tendance n'a été mise en évidence pour 304 séries (36.1%).
- 556 séries (66%) montrent une situation et une évolution favorables.
- Seules 41 séries (4%) montrent une situation et une évolution défavorables.
- Une rupture (modèle M2) a été mise en évidence sur près de deux tiers des séries (64.7%).
- Un modèle non paramétrique a été ajusté sur 42.4% des séries.
- La concentration en nitrates estimée par le modèle au 31/12/2013 est inférieure à la norme des 50 mg/l/an pour 780 séries (92.6%).

Tableau 4 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques d'eau souterraine du réseau DCE sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		986	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		842	
Tendance non-significative		304	
Tendance significative		538	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	177	P	485	< 50 mg/l/an	780
M1	120	NP	357	≥ 50 mg/l/an	62
M2	545				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	41
Situation défavorable mais évolution favorable	21
Situation favorable mais évolution très défavorable	35
Situation favorable mais évolution défavorable	94
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	95
Situation et évolution favorables	556

6.3 Synthèse pour le réseau Nitrates

Si l'on regarde les résultats uniquement pour les séries faisant partie du réseau Nitrates (Tableau 5), les observations suivantes peuvent être faites :

- 85 séries chronologiques n'ont pu être analysées faute d'un nombre suffisant de données.
- Aucune tendance n'a été mise en évidence pour 280 séries (35.0%).
- 523 séries (65.3%) montrent une situation et une évolution favorables.
- Seules 39 séries (4.9%) montrent une situation et une évolution défavorables.
- Une rupture (modèle M2) a été mise en évidence sur près de deux tiers des séries (65.1%).
- Un modèle non paramétrique a été ajusté sur 41.3% des séries.
- La concentration en nitrates estimée par le modèle au 31/12/2013 est inférieure à la norme des 50 mg/l/an pour 741 séries (92.5%).

A l'Annexe 1, la Figure 12 montre la carte de la classification pour l'ensemble des séries chronologiques du réseau Nitrates sur la Région Wallonne. La Figure 13 montre l'histogramme des dates de rupture (à gauche) et celui des dernières pentes du modèle (à droite).

Tableau 5 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques d'eau souterraine du réseau Nitrates sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		886	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		801	
Tendance non-significative		280	
Tendance significative		521	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	161	P	470	< 50 mg/l/an	741
M1	118	NP	331	≥ 50 mg/l/an	60
M2	522				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	39
Situation défavorable mais évolution favorable	21
Situation favorable mais évolution très défavorable	32
Situation favorable mais évolution défavorable	94
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	92
Situation et évolution favorables	523

6.4 Analyse des tendances et ruptures par masse d'eau

L'Annexe 3 contient une fiche récapitulative par masse d'eau. Chaque fiche présente :

- Un tableau de synthèse
- Une carte selon la classification en codes couleur.
- Un graphique avec l'ensemble des séries de la masse d'eau ainsi que l'ajustement loess et le modèle agrégé sélectionné
- Un cross-plot entre les pentes paramétriques et non paramétriques.

Le diagramme de dispersion entre les pentes paramétriques et non paramétriques agrégées est montré à la Figure 4. Le coefficient de corrélation entre les deux types de pentes est égal à 0.70, indiquant que les modèles paramétriques et non paramétriques sont généralement assez proches. Comme attendu, pour les masses d'eau comptant peu de séries chronologiques, il se peut que cette relation soit moins forte.

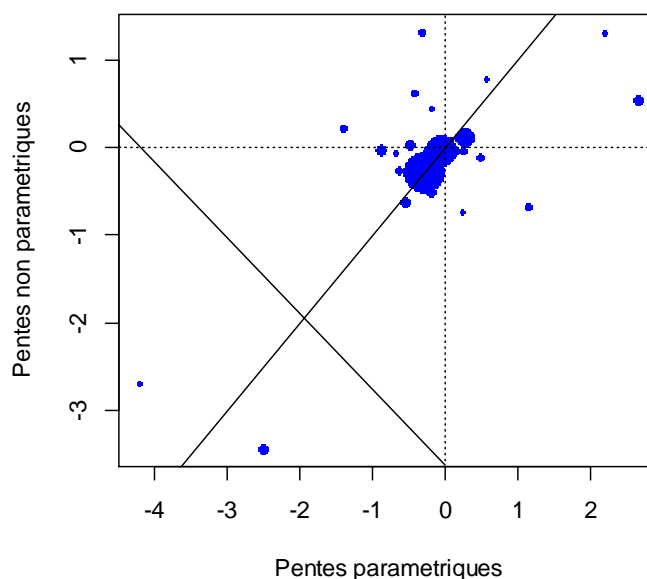


Figure 4 : Diagramme de dispersion entre les pentes paramétriques et non paramétriques agrégées. Chaque point représente une masse d'eau. La taille des points est proportionnelle au nombre de séries chronologiques analysées pour la masse d'eau en question.

7. RESULTATS POUR LES EAUX DE SURFACE

Les résultats des analyses de tendances réalisées sur les 55 séries chronologiques d'eaux de surface sont résumés dans le tableau donné à l'Annexe 4.

Les figures sont données dans le répertoire *Witrates\Programmes\R\figures\ESU*. La nomenclature est la suivante :

- *ESU_Hist_Residus_Serie_IDserie.wmf* montre l'histogramme des résidus.
- *ESU_Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle non paramétrique ajusté. Si un tel fichier existe pour une série, c'est lui qui contient le meilleur modèle. Dans le cas contraire, le modèle sélectionné est paramétrique.
- *ESU_Modele_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle paramétrique sélectionné. Il est le meilleur modèle ajusté dans le cas où il n'existe pas de fichier *ESU_Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* pour la même série.
- *ESU_Modeles_NP_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles non paramétriques (M0, M1 et M2). Ce fichier n'existe que si une analyse non paramétrique a été réalisée.
- *ESU_Modeles_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles paramétriques (M0, M1 et M2).
- *ESU_Outliers_q_5_Serie_IDserie.wmf* montre la série avec identification des outliers.

En guise de synthèse à l'échelle de la Région Wallonne, la classification des séries est donnée à la Figure 5. La Figure 6 montre les histogrammes des dernières pentes et des dates de rupture.

La répartition des séries selon le type de modèle et la classification est résumée au Tableau 6.

Tableau 6 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques d'eau de surface sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		55	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		55	
Tendance non-significative		32	
Tendance significative		23	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	24	P	25	< 50 mg/l/an	55
M1	6	NP	30	≥ 50 mg/l/an	0
M2	25				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables (par rapport à la directive 91/676/CE)	0
Situation et évolution défavorables (par rapport à la directive 2000/60/CE)	9
Situation défavorable mais évolution favorable (par rapport à la directive 2000/60/CE)	1
Situation défavorable mais évolution favorable (par rapport à la directive 91/676/CE)	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	7
Situation et évolution favorables	38

Les principales observations suivantes peuvent être faites :

- 32 séries sur 55 (58%) ne montrent aucune tendance.
- 9 séries (16.4%) montrent une situation et une évolution défavorables par rapport à la directive 2000/60/CE.
- 1 série (1.8%) montre une situation défavorable mais une évolution favorable par rapport à la directive 2000/60/CE.
- Une situation favorable et une évolution légèrement défavorable est relevée pour 7 séries (12.7%).
- 38 séries (69%) montrent une situation et une évolution favorables.
- Les modèles les plus fréquents sont les modèles M0 et M2.

- La pente moyenne est égale à 0.05 mg/l/an (IC à 95% = [-0.485;0.736]).
- La date de rupture moyenne pour les modèles M2 est estimée à 2001.3 (IC à 95% = [1985;2010]).
- Toutes les séries ont une concentration en nitrates estimée pour 2015 inférieure à la norme des 50 mg/l/an.

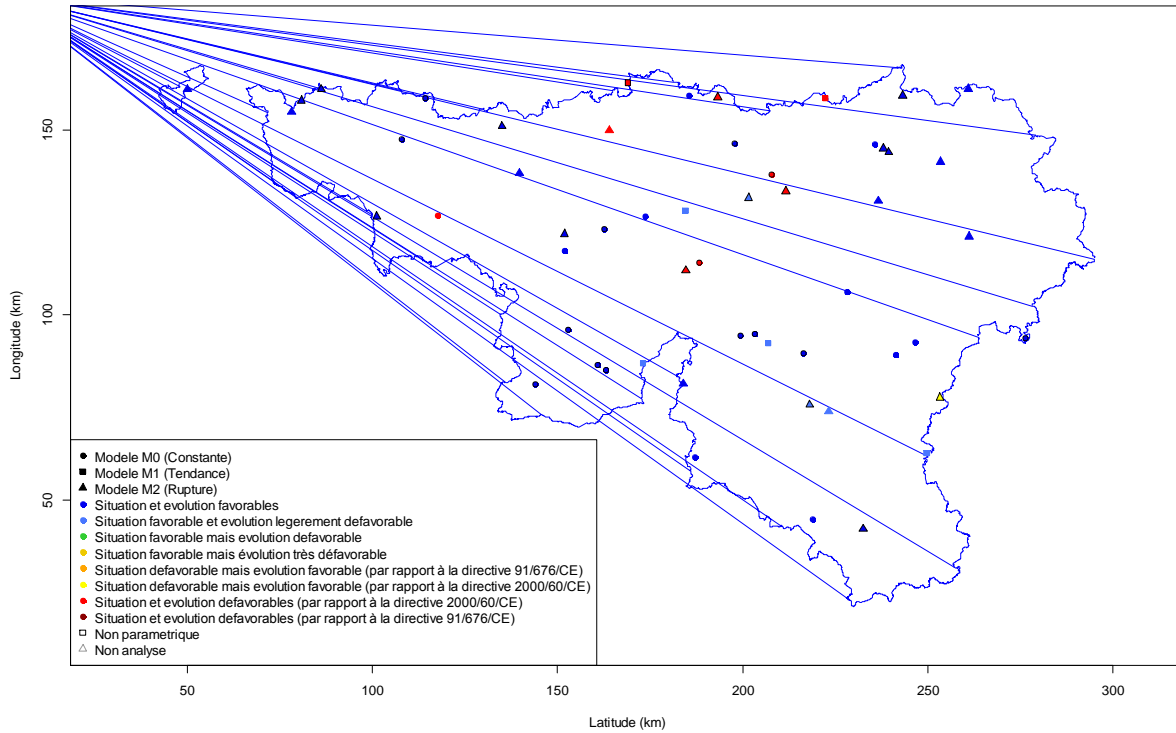


Figure 5 : Synthèse des tendances pour les eaux de surface à l'échelle de la Région Wallonne.

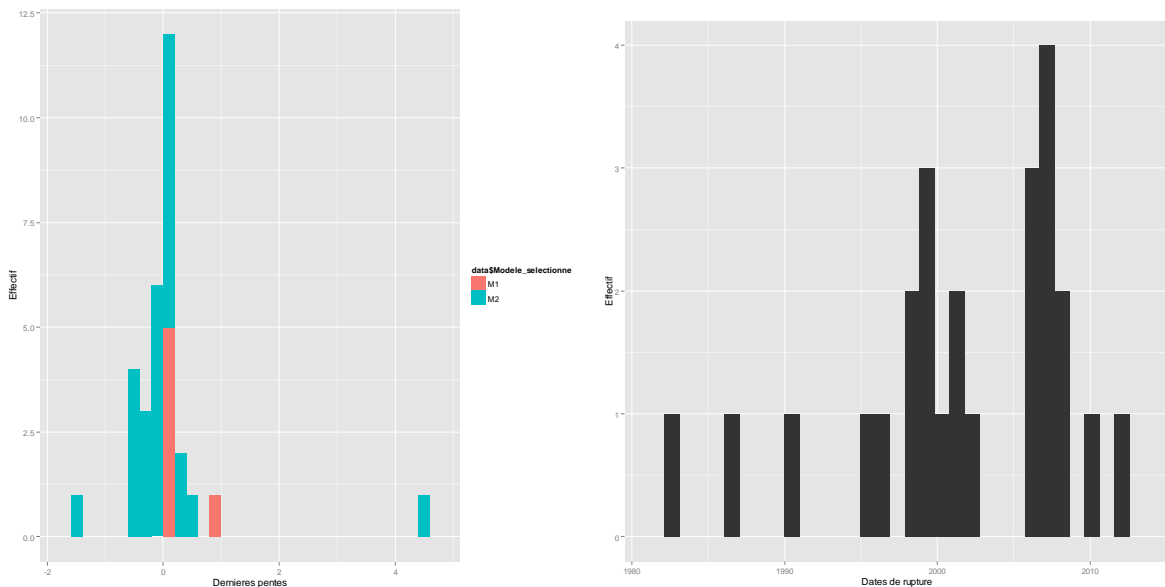


Figure 6 : Histogramme des dernières pentes (à gauche) et des dates de rupture pour les modèles M2 (à droite) pour les eaux de surface.

8. RESULTATS POUR LES SORTIES DE MODELE EPIC

Le modèle EPICgrid est un modèle hydrologique de bassin versant développé par l'Unité Systèmes Sol - Eau de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg) (Sohier, 2011) sur base du modèle parcellaire EPIC (Williams et al., 1984). Les valeurs fournies sont des valeurs relatives par rapport à l'année de référence 1991 (date de mise en œuvre du premier programme d'action (PGDA 1)).

Les séries issues de modélisation sont divisées en 3 catégories : eaux de surface, zone racinaire et nappe de base. Les résultats pour chacune de ces catégories sont détaillés dans les sections suivantes.

Les figures sont données dans le répertoire *Nitrates\Programmes\R\figures\EPIC\Categ*, où *Categ* est l'une des trois catégories mentionnées ci-dessus. La nomenclature est la suivante :

- *EPIC_Categ_Hist_Residus_Serie_IDserie.wmf* montre l'histogramme des résidus.
- *EPIC_Categ_Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle non paramétrique ajusté. Si un tel fichier existe pour une série, c'est lui qui contient le meilleur modèle. Dans le cas contraire, le modèle sélectionné est paramétrique.
- *EPIC_Categ_Modele_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* montre le modèle paramétrique sélectionné. Il est le meilleur modèle ajusté dans le cas où il n'existe pas de fichier *EPIC_Categ_Modele_NP_Selectionne_Serie_IDserie.wmf* pour la même série.
- *EPIC_Categ_Modeles_NP_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles non paramétriques (M0, M1 et M2). Ce fichier n'existe que si une analyse non paramétrique a été réalisée.
- *EPIC_Categ_Modeles_Serie_IDserie.wmf* montre les 3 modèles paramétriques (M0, M1 et M2).
- *EPIC_Categ_Outliers_q_5_Serie_IDserie.wmf* montre la série avec identification des outliers.

Comme aucune coordonnée géographique n'est associée à ces séries chronologiques, aucune carte de synthèse ne peut être produite.

8.1 Eaux de surface

Le tableau de résultats complets pour les 65 séries est donné à l'Annexe 5. La Figure 7 montre les histogrammes des dernières pentes et des dates de rupture. Une carte de synthèse sur l'entièreté de la Région Wallonne est montrée à la Figure 14. De ces tableaux et figures peuvent être tirées les observations suivantes :

- 40 séries (62%) montrent une tendance à la diminution.
- Une tendance stable suivie d'une augmentation est relevée pour 3 séries (4%).
- 11 séries (17%) ont montré une tendance à l'augmentation avant de se stabiliser.
- 11 séries (17%) ne montrent aucune tendance sur toute la période.
- Le modèle le plus fréquent est le modèle M2.
- La pente moyenne est égale à -0.01 mg/l/an (IC à 95% = $[-0.032;0.006]$).
- La date de rupture moyenne pour les modèles M2 est estimée à 1995.5 (IC à 95% = $[1980;2003]$).

Tableau 7 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques modélisées pour les eaux de surface sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau		65
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		65
Tendance non-significative		22
Tendance significative		43

Type de modèle	Nbre		Nbre
M0	11	P	47
M1	5	NP	18
M2	49		

Tendance	Nombre
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis stable	11
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la hausse	3
Pas de tendance significative sur la période 1971-2013	11
Tendance à la hausse sur toute la période 1971-2013	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la baisse et puis à la hausse	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la baisse	11
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis à la baisse	24
Tendance à la baisse sur toute la période 1971-2013	5

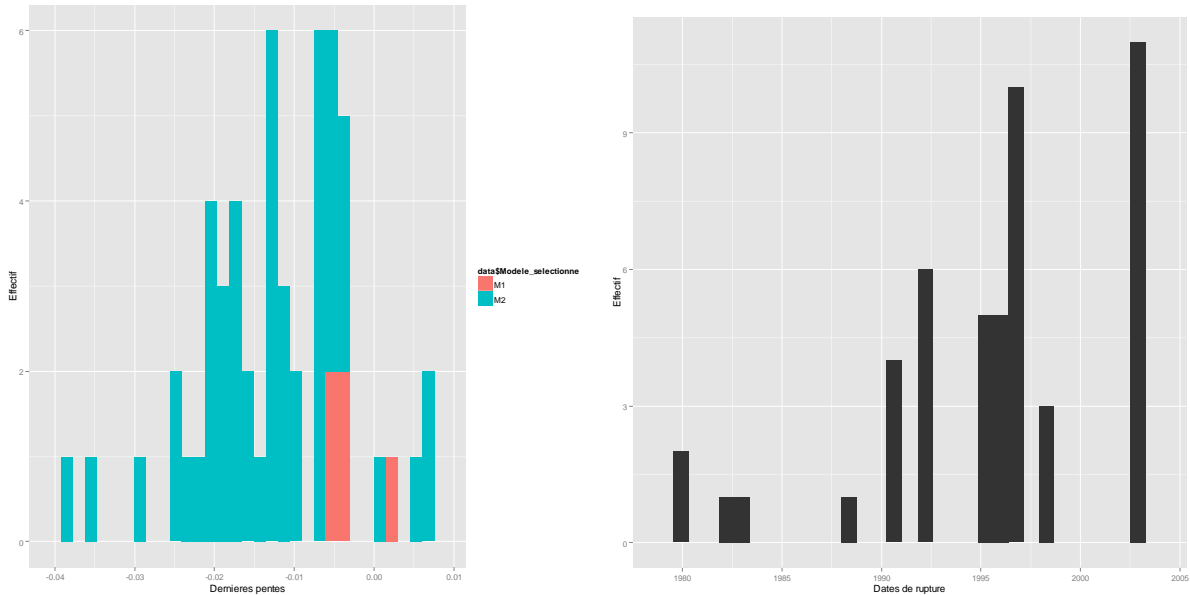


Figure 7 : Histogramme des dernières pentes (à gauche) et des dates de rupture pour les modèles M2 (à droite) pour les séries chronologiques modélisées pour les eaux de surface.

8.2 Zone racinaire

L'Annexe 6 fournit les résultats complets pour les 65 séries. Les histogrammes des dernières pentes et des dates de rupture sont montrés à la Figure 8. Une carte de synthèse sur l'entièreté de la Région Wallonne est montrée à la Figure 15.

Pour ces séries chronologiques, les observations suivantes peuvent être formulées :

- 1 série sur 65 (1.5%) ne montre aucune tendance.
- 62 séries (95.5%) montrent une faible tendance à la diminution.
- Une tendance à la hausse est relevée pour 2 séries (3%).
- Le modèle le plus fréquent est le modèle M2.
- La pente moyenne est égale à -0.02 mg/l/an (IC à 95% = $[-0.053;0.002]$).
- La date de rupture moyenne pour les modèles M2 est estimée à 1995.5 (IC à 95% = $[1990;2003]$).

Tableau 8 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques modélisées pour la zone racinaire sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		65	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		65	
Tendance non-significative		1	
Tendance significative		64	

Type de modèle	Nbre		Nbre
M0	1	P	59
M1	4	NP	6
M2	60		

Tendance	Nombre
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis stable	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la hausse	0
Pas de tendance significative sur la période 1971-2013	1
Tendance à la hausse sur toute la période 1971-2013	2
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la baisse et puis à la hausse	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la baisse	20
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis à la baisse	40
Tendance à la baisse sur toute la période 1971-2013	2

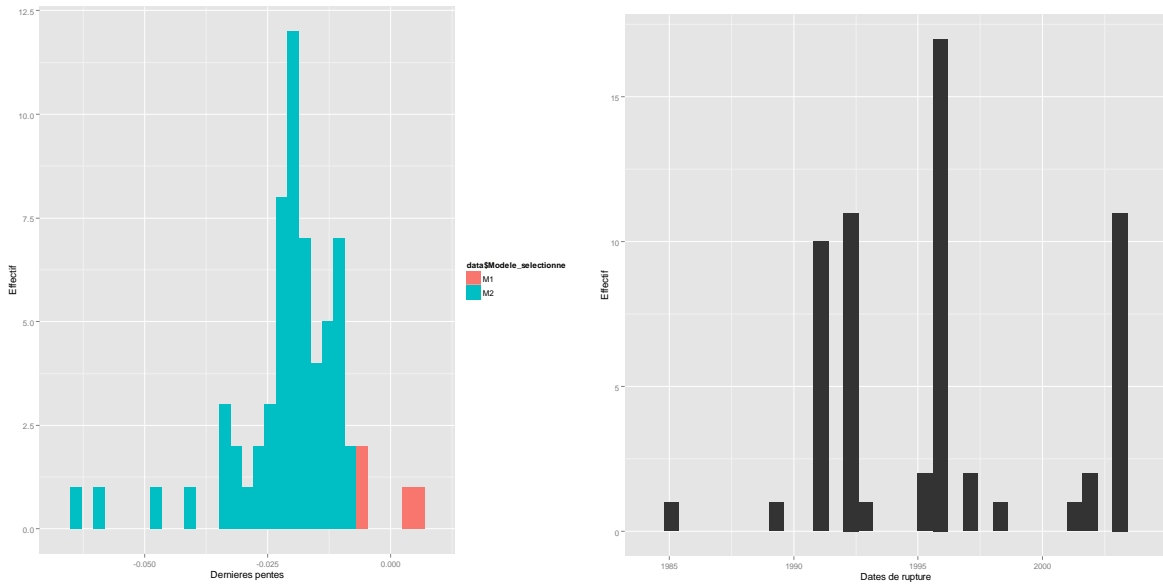


Figure 8 : Histogramme des dernières pentes (à gauche) et des dates de rupture pour les modèles M2 (à droite) pour les séries chronologiques modélisées pour la zone racinaire.

8.3 Nappe de base

Les résultats complets pour les 28 séries sont fournis à l'Annexe 7. La Figure 9 montre les histogrammes pour les dernières pentes et pour les dates de rupture. Une carte de synthèse sur l'entièreté de la Région Wallonne est montrée à la Figure 16. De ces éléments peuvent être tirées les observations suivantes :

- 5 séries sur 28 (18%) ne montrent aucune tendance.
- 23 séries (82%) montrent une tendance à la diminution.
- Tous les modèles sont de type M2.
- La pente moyenne est égale à -0.018 mg/l/an (IC à 95% = $[-0.040;0.001]$).
- La date de rupture moyenne pour les modèles M2 est estimée à 1997 (IC à 95% = $[1980;2003]$).

Tableau 9 : Synthèse des modèles ajustés sur les séries chronologiques modélisées pour la nappe de base sur l'ensemble de la Région Wallonne.

		Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau		28
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		28
Tendance non-significative		5
Tendance significative		23

Type de modèle	Nbre		Nbre
M0	0	P	24
M1	0	NP	4
M2	28		

Tendance	Nombre
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis stable	5
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la hausse	0
Pas de tendance significative sur la période 1971-2013	0
Tendance à la hausse sur toute la période 1971-2013	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la baisse et puis à la hausse	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance stable et puis à la baisse	0
Rupture de tendance au cours de la période 1971-2013: Tendance à la hausse et puis à la baisse	23
Tendance à la baisse sur toute la période 1971-2013	0

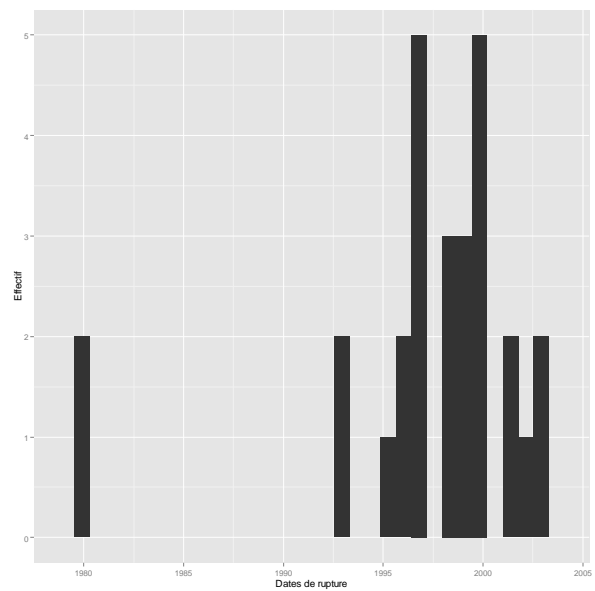
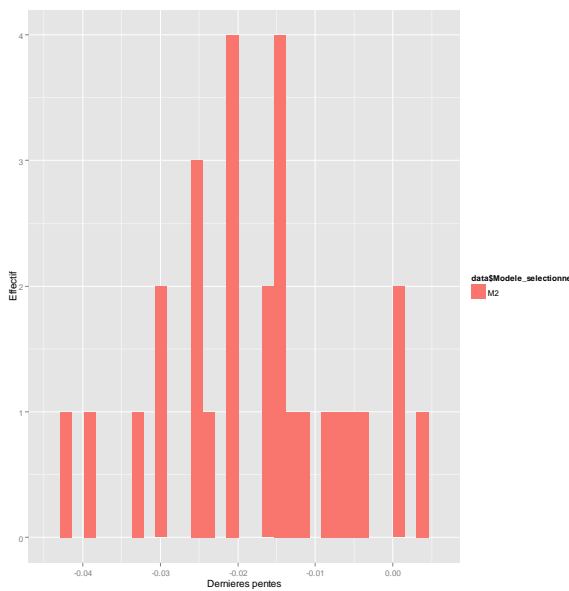


Figure 9 : Histogramme des dernières pentes (à gauche) et des dates de rupture pour les modèles M2 (à droite) pour les séries chronologiques modélisées pour la nappe de base.

9. CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était de mettre au point une méthodologie statistique de sélection de modèle sur les séries chronologiques de mesures de concentrations en nitrates.

Un workflow complet a ainsi été développé, basée sur des régressions et des tests d'hypothèses, comprenant les étapes suivantes :

1. Identification des données isolées temporellement
2. Test sur le nombre de données disponibles
3. Détection des outliers statistiques
4. Analyse paramétrique, éventuellement en prenant en compte les données piézométriques si elles sont disponibles.
5. Test de normalité des résidus
6. Si (résidus non Gaussiens) : Régression et tests non paramétriques
7. Agrégation au niveau de la masse d'eau

Ce workflow a montré qu'il était robuste et pouvait s'adapter à une grande variété de situations. Dans cette analyse, on ne cherche pas à modéliser les effets cycliques de type saisonnier ; on cherche à mettre en effet les tendances sur un horizon pluri-annuel. C'est pourquoi les données piézométriques, qui contiennent une partie de l'information sur le cycle saisonnier lorsqu'elles existent, sont prises en compte dans l'analyse paramétrique.

La méthodologie a été appliquée sur 986 séries chronologiques relatives aux eaux souterraines, 55 séries d'eau de surface et 65 séries issues de modélisation. Les observations principales peuvent être formulées :

- Pour les eaux souterraines du réseau DCE :
 - 144 séries chronologiques n'ont pu être analysées faute d'un nombre suffisant de données.
 - Aucune tendance n'a été mise en évidence pour 304 séries (36.1%).
 - 556 séries (66%) montrent une situation et une évolution favorables.
 - Seules 41 séries (4%) montrent une situation et une évolution défavorables.
 - Une rupture (modèle M2) a été mise en évidence sur près de deux tiers des séries (64.7%).
 - Un modèle non paramétrique a été ajusté sur 42.4% des séries.
 - La concentration en nitrates estimée par le modèle au 31/12/2013 est inférieure à la norme des 50 mg/l/an pour 780 séries (92.6%).
- Pour les eaux souterraines du réseau Nitrates :
 - 85 séries chronologiques n'ont pu être analysées faute d'un nombre suffisant de données.
 - Aucune tendance n'a été mise en évidence pour 280 séries (35.0%).
 - 556 séries (65.3%) montrent une situation et une évolution favorables.
 - Seules 39 séries (4.9%) montrent une situation et une évolution défavorables.
 - Une rupture (modèle M2) a été mise en évidence sur près de deux tiers des séries (65.1%).
 - Un modèle non paramétrique a été ajusté sur 41.3% des séries.
 - La concentration en nitrates estimée par le modèle au 31/12/2013 est inférieure à la norme des 50 mg/l/an pour 741 séries (92.5%).
- Pour les eaux de surface :
 - 32 séries sur 55 (58%) ne montrent aucune tendance.
 - 9 séries (16.4%) montrent une situation et une évolution défavorables par rapport à la directive 2000/60/CE.
 - 1 série (1.8%) montre une situation défavorable mais une évolution favorable par rapport à la directive 2000/60/CE.
 - Une situation favorable et une évolution légèrement défavorable est relevée pour 7 séries (12.7%).
 - 38 séries (69%) montrent une situation et une évolution favorables.
 - Toutes les séries ont une concentration en nitrates estimée pour 2015 inférieure à la norme des 50 mg/l/an.

- Pour les séries issues de modélisation :
 - Eaux de surface :
 - 40 séries (62%) montrent une tendance à la diminution.
 - Une tendance stable suivie d'une augmentation est relevée pour 3 séries (4%).
 - 11 séries (17%) ont montré une tendance à l'augmentation avant de se stabiliser.
 - 11 séries (17%) ne montrent aucune tendance sur toute la période.
 - Zone racinaire :
 - 1 série sur 65 (1.5%) ne montre aucune tendance.
 - 62 séries (95.5%) montrent une faible tendance à la diminution.
 - Une tendance à la hausse est relevée pour 2 séries (3%).
 - Nappe de base :
 - 5 séries sur 28 (18%) ne montrent aucune tendance.
 - 23 séries (82%) montrent une tendance à la diminution.

N'étant pas hydrogéologues, nous laissons le soin au SPW d'interpréter les résultats produits d'un point de vue métier.

10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

D'Or D. and Allard. D. (2014). Mise en évidence de tendances éventuelles sur les séries chronologiques présentées par les points du réseau de mesure wallon des eaux de surface et souterraines en ce qui concerne les nitrates. Rapport préliminaire. Rapport Ephesia Consult RP DGO3 2014001 - Juin 2014.

Grath J., Scheidleder A., Uhlig S., Weber K., Kralik M., Keimel T. and Gruber D. (2001). "The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results". Final Report. Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management (Ref.: 41.046/01-IV1/00 and GZ 16 2500/2-I/6/00), European Commission (Grant Agreement Ref.: Subv 99/130794), in kind contributions by project partners. Vienna.

Helsel D.R. and Hirsch R.M., (1992). Statistical method in water resources, Studies in Environmental Science 49, Elsevier, Amsterdam.

Kass, Robert E. and Adrian E. Raftery (1995). "Bayes Factors". *Journal of the American Statistical Association* 90 (430): 773–795. doi:10.2307/2291091

Lopez B., Croiset N., Surdyk N. and Brugeron A. (2013) – Développement d'outils d'aide à l'évaluation des tendances dans les eaux souterraines au titre de la DCE. Rapport final. BRGM/RP-61855-FR, 98 p., 45 ill., 1 ann.

Renard B. (2006). Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique, Cemagref (Lyon).

Schwarz, G. E. (1978). "Estimating the dimension of a model". *Annals of Statistics* 6 (2): 461–464. doi:10.1214/aos/1176344136.

Sen P.K., (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.

Sohier C. (2011). Développement d'un modèle hydrologique sol et zone vadose afin d'évaluer l'impact des pollutions diffuses et des mesures d'atténuation sur la qualité des eaux en Région wallonne (thèse de doctorat). Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 338 p., 30 tabl. 146 fig.

Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T. (1984). A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the ASAE*. 27, 129-144.

**ANNEXE 1 –
CARTES DE SYNTHÈSE DES EAUX SOUTERRAINES POUR TOUTE
LA RÉGION WALLONNE**

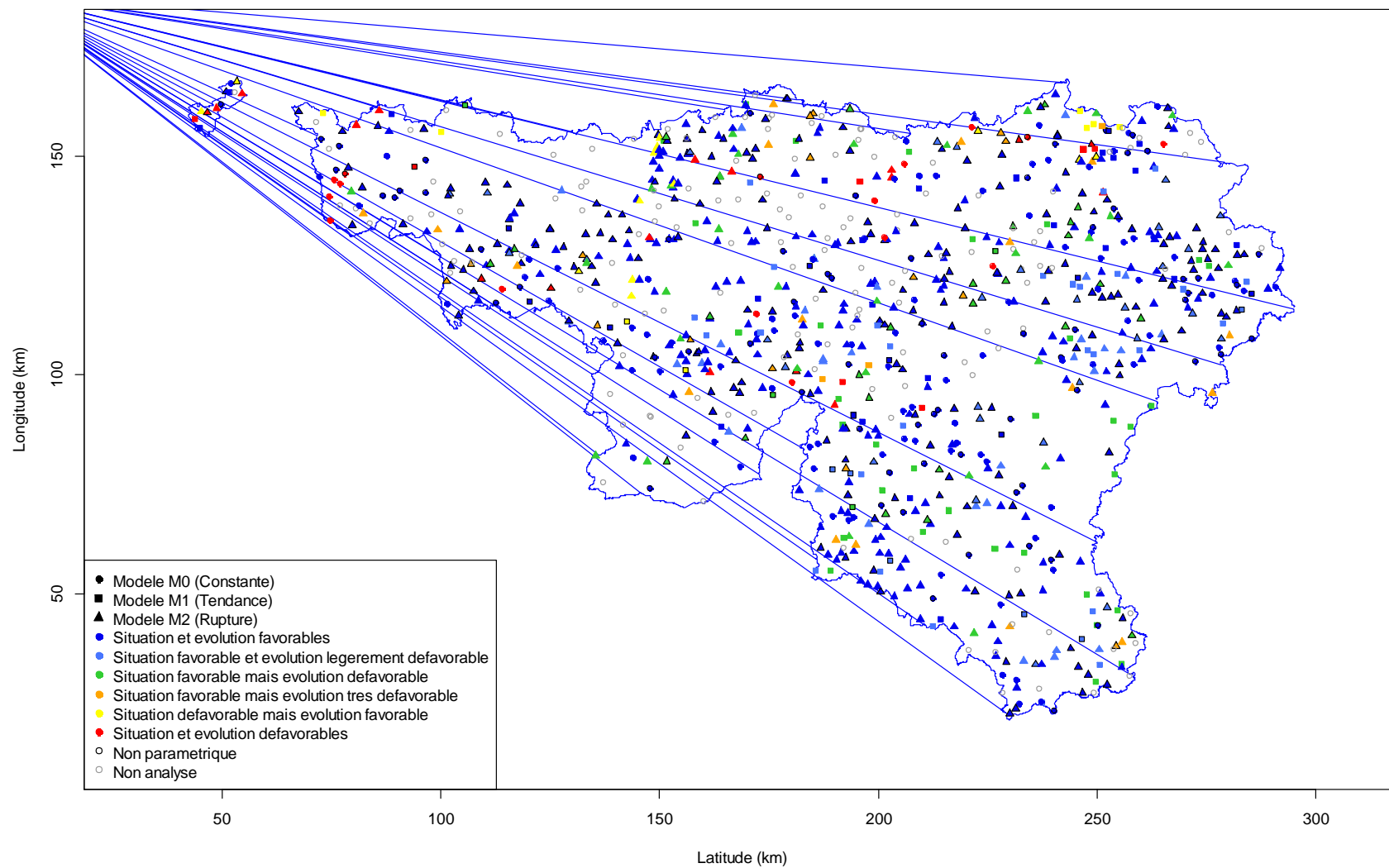


Figure 10 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour le réseau DCE.

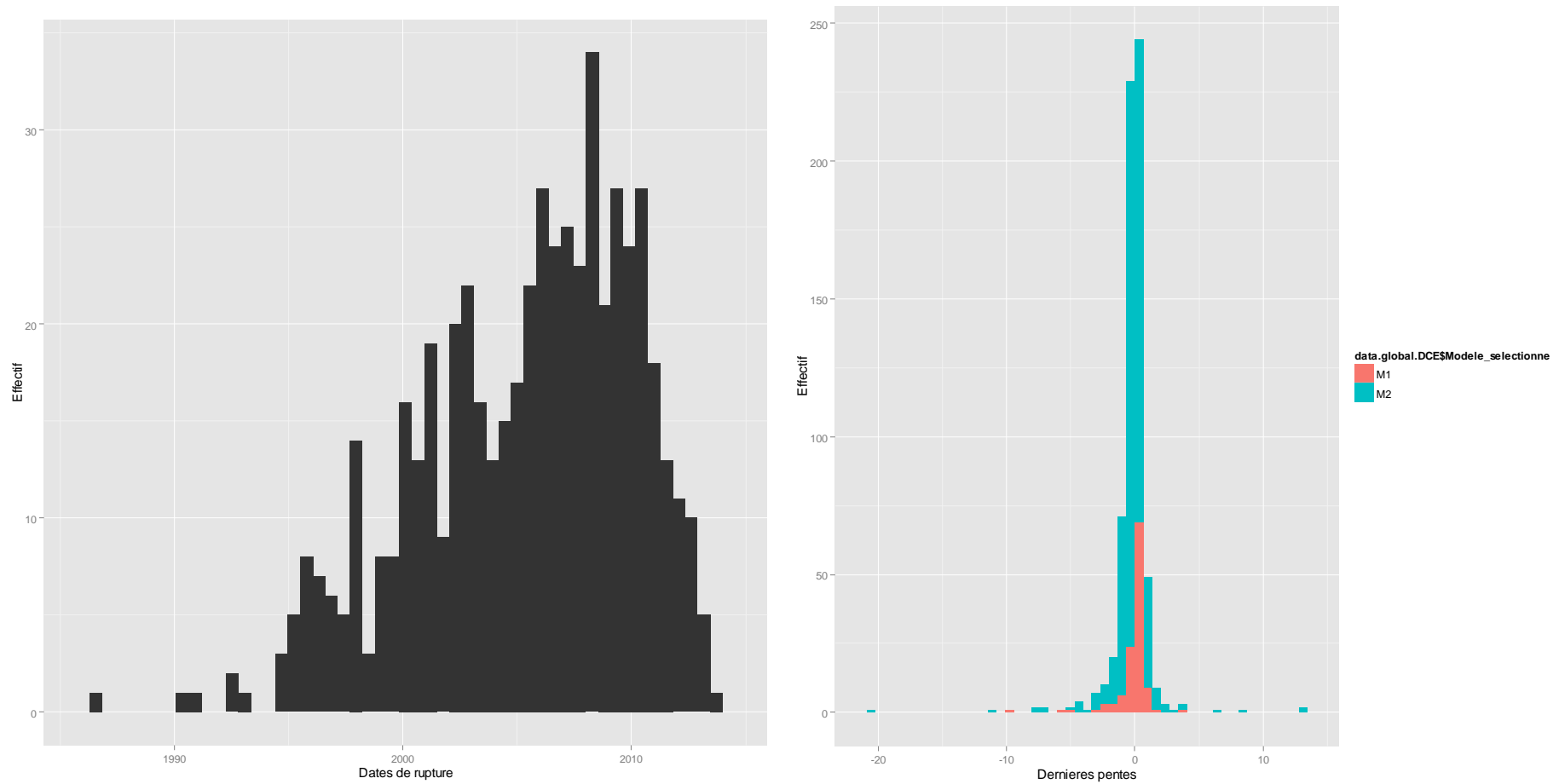


Figure 11 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour le réseau DCE : à droite : histogramme des dates de rupture pour les modèles M2. A gauche : histogramme des dernières pentes pour les modèles M1 et M2 avec identification du type de modèle.

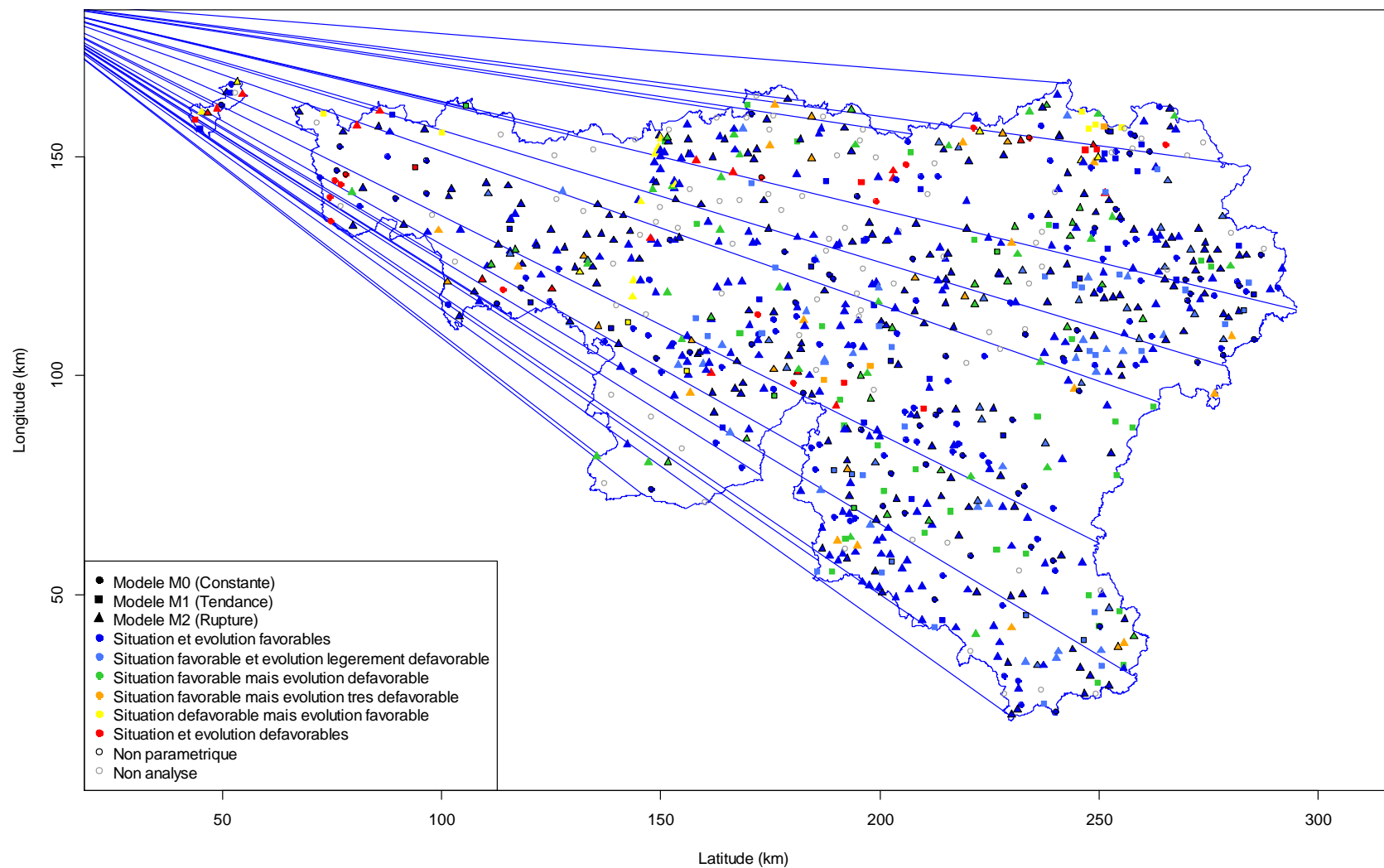


Figure 12 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour le réseau Nitrates.

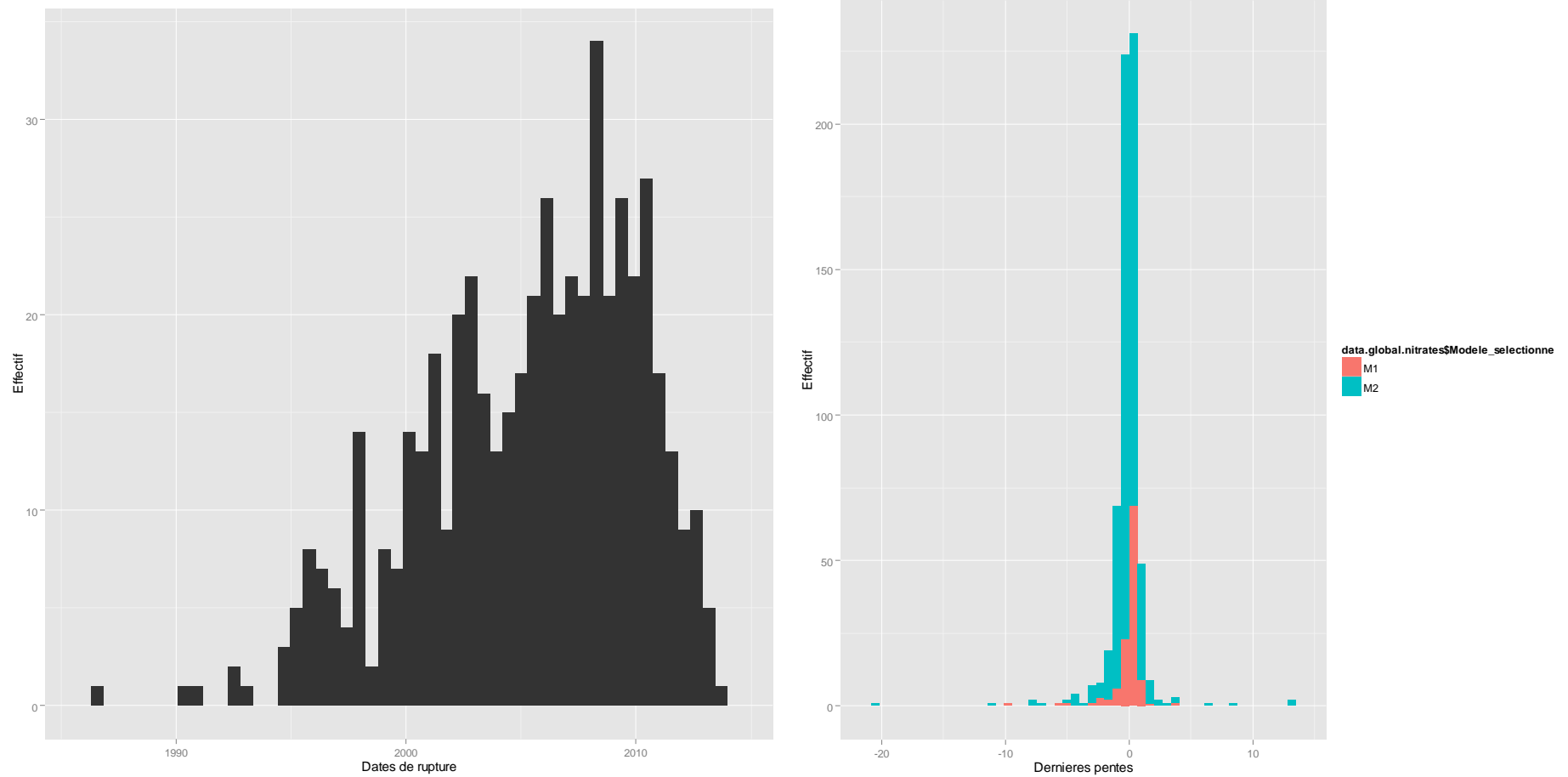


Figure 13 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour le réseau Nitrates : à droite : histogramme des dates de rupture pour les modèles M2. A gauche : histogramme des dernières pentes pour les modèles M1 et M2 avec identification du type de modèle.

**ANNEXE 2 –
CARTES DE SYNTHÈSE DES SÉRIES MODÉLISÉES POUR TOUTE
LA RÉGION WALLONNE**

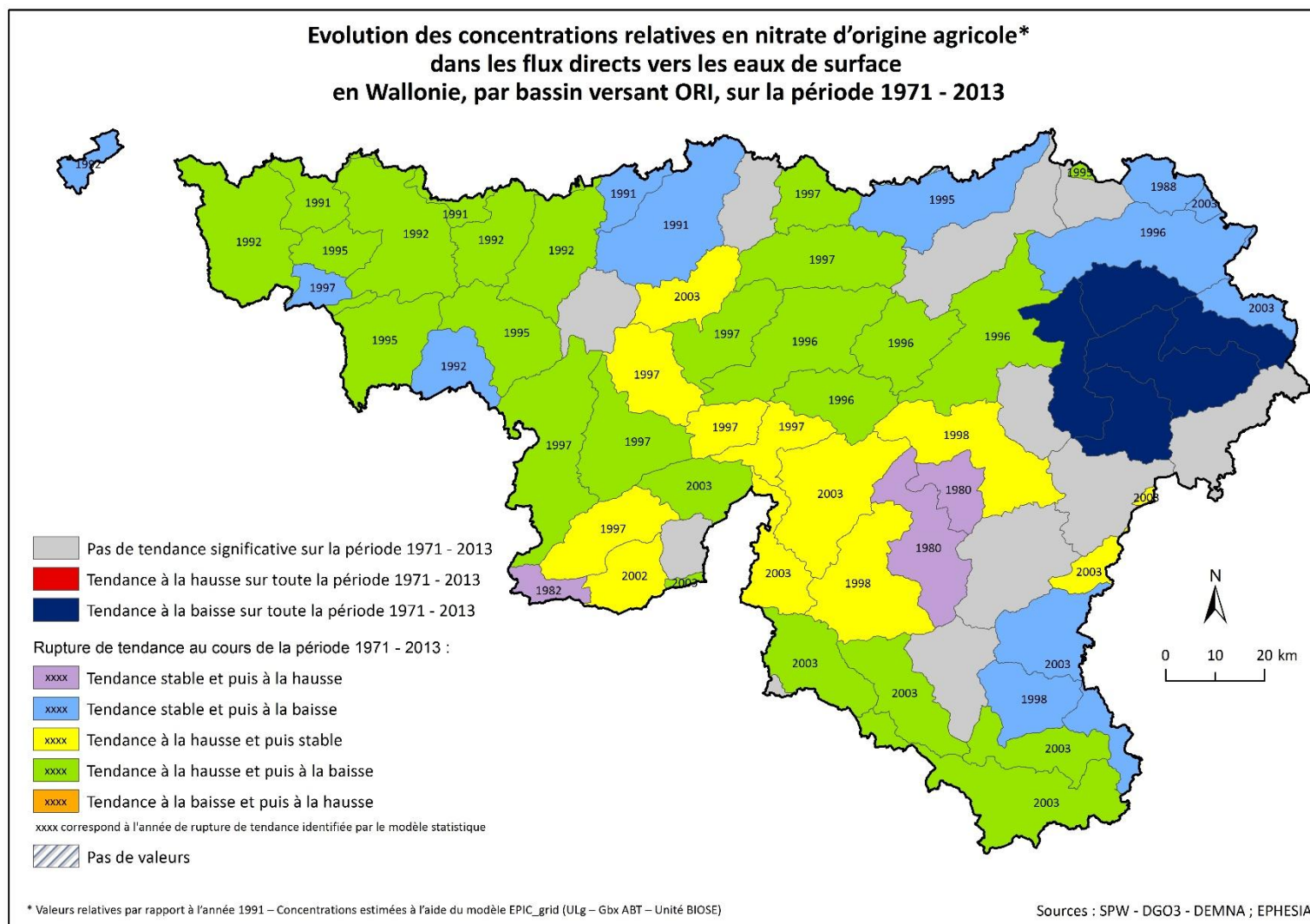


Figure 14 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour les séries modélisées – Eaux de surface.

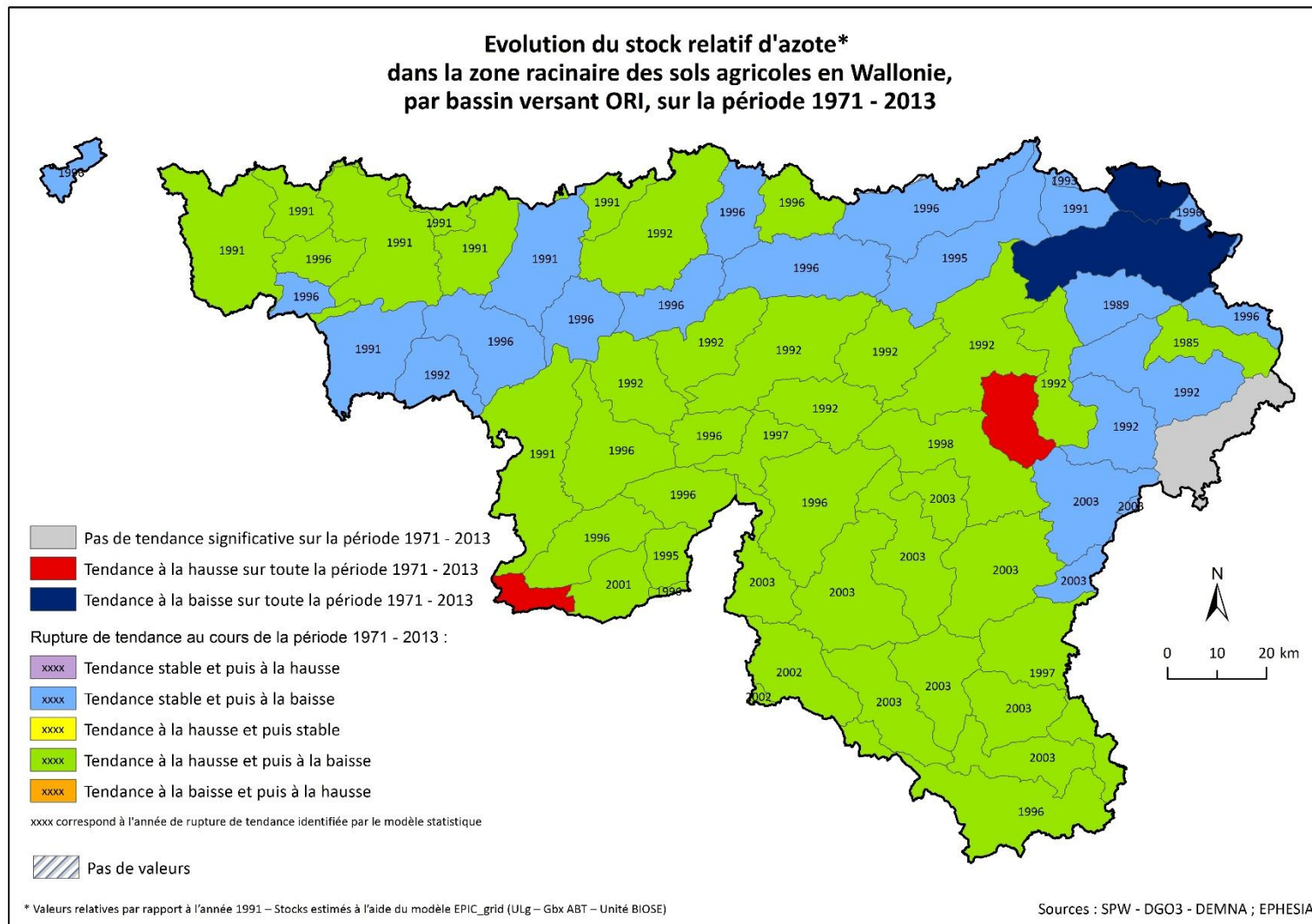


Figure 15 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour les séries modélisées – Zone racinaire.

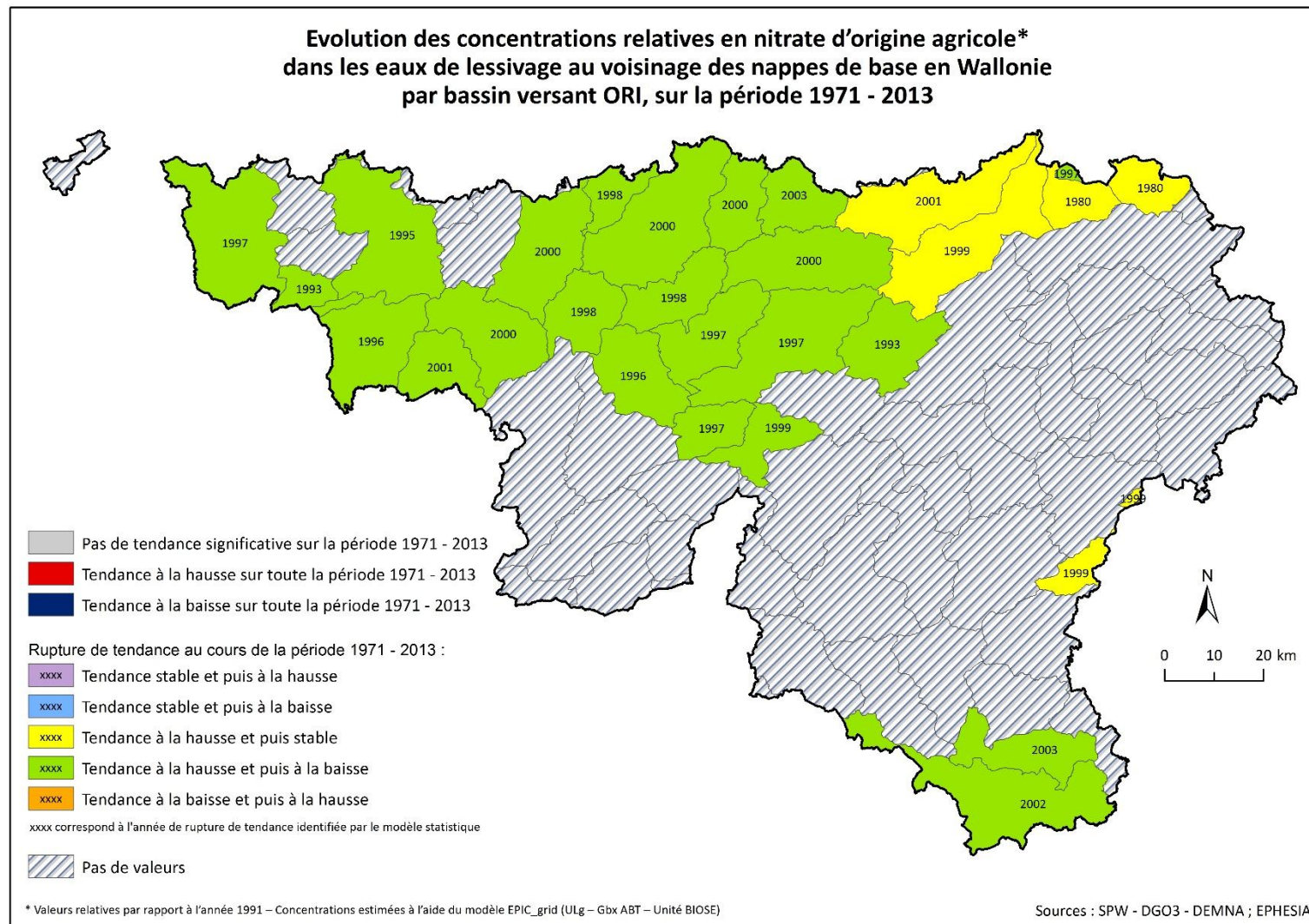


Figure 16 : Synthèse des tendances à l'échelle de la Région Wallonne pour les séries modélisées – Nappe de base.

**ANNEXE 3 –
FICHES DE SYNTHÈSE PAR MASSE D'EAU**

Nom de la masse d'eau : Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies

Code : E013

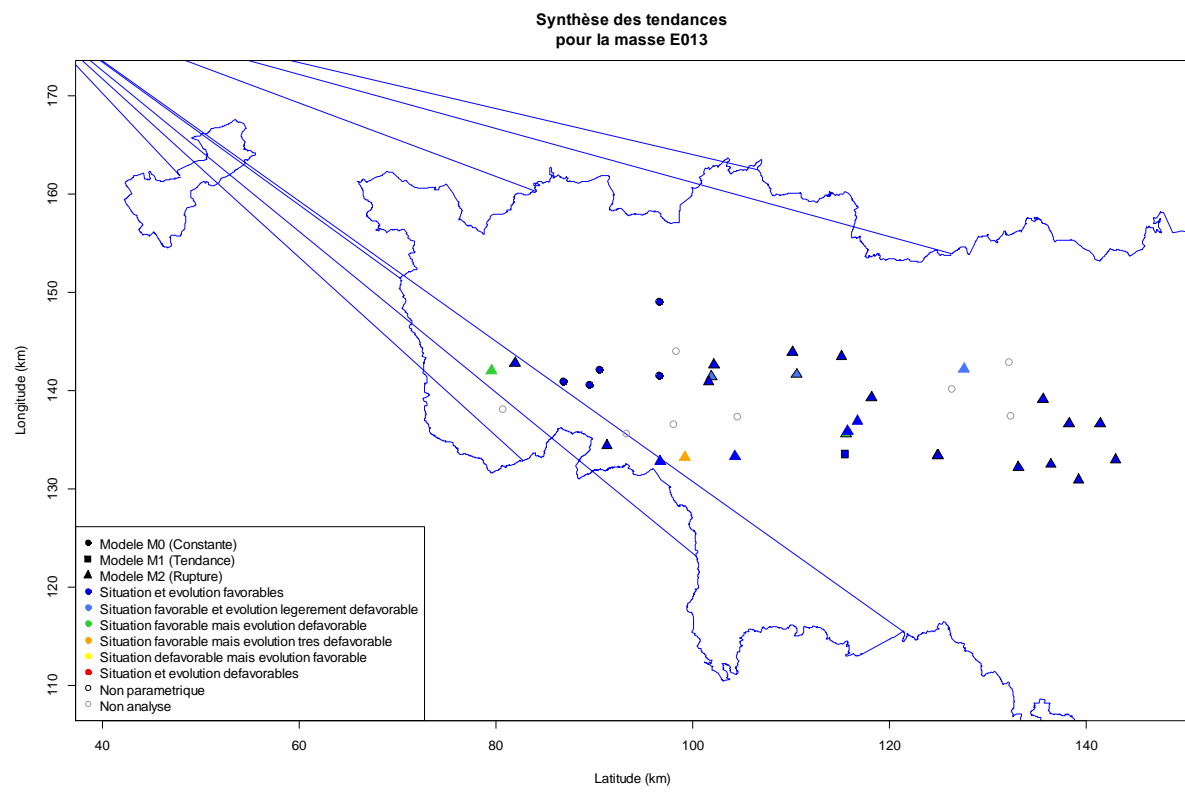
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		40	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		32	
Tendance non-significative		14	
Tendance significative		18	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	5	P	7	< 50 mg/l/an	32
M1	1	NP	25	≥ 50 mg/l/an	0
M2	26				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	3
Situation et évolution favorables	26

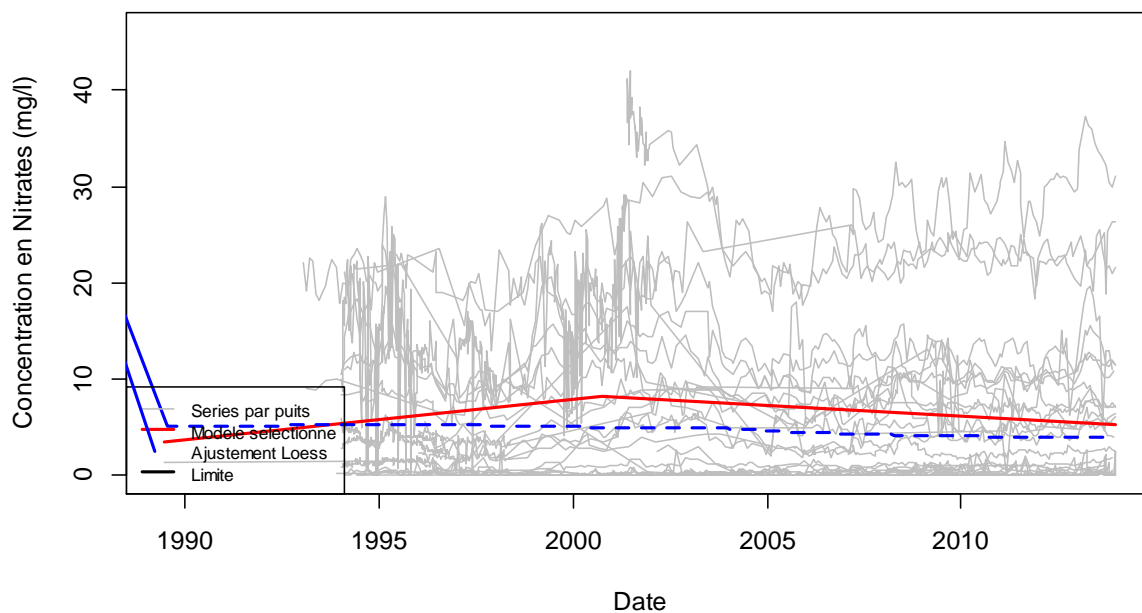
Cartographie des tendances



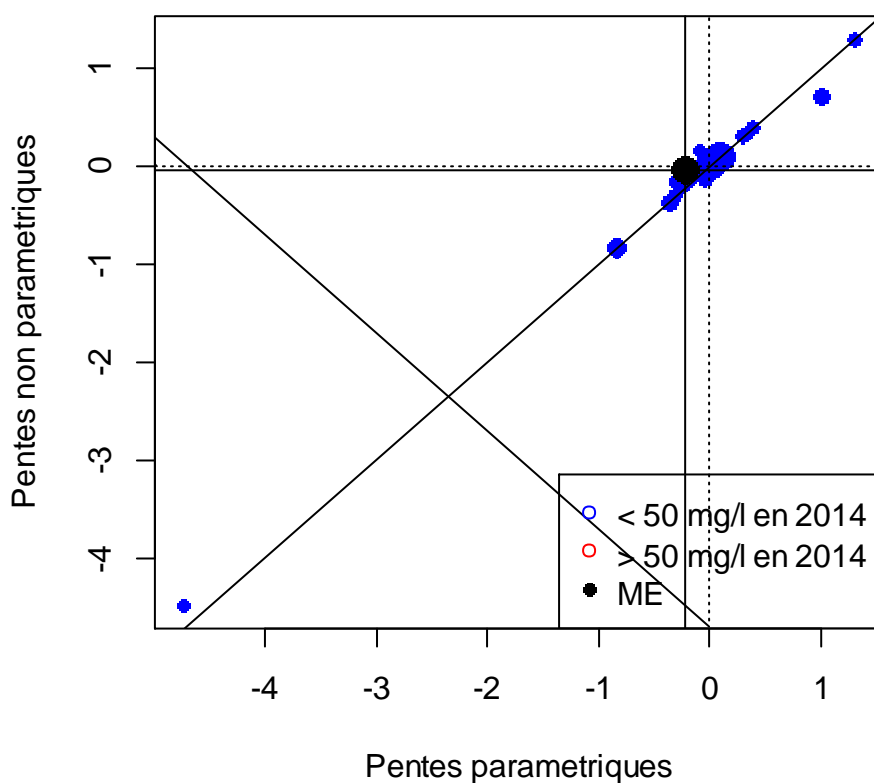
Nom de la masse d'eau : Calcaires de Peruwelz-Ath-Soignies

Code : E013

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Craies du bassin de la Haine

Code : E030

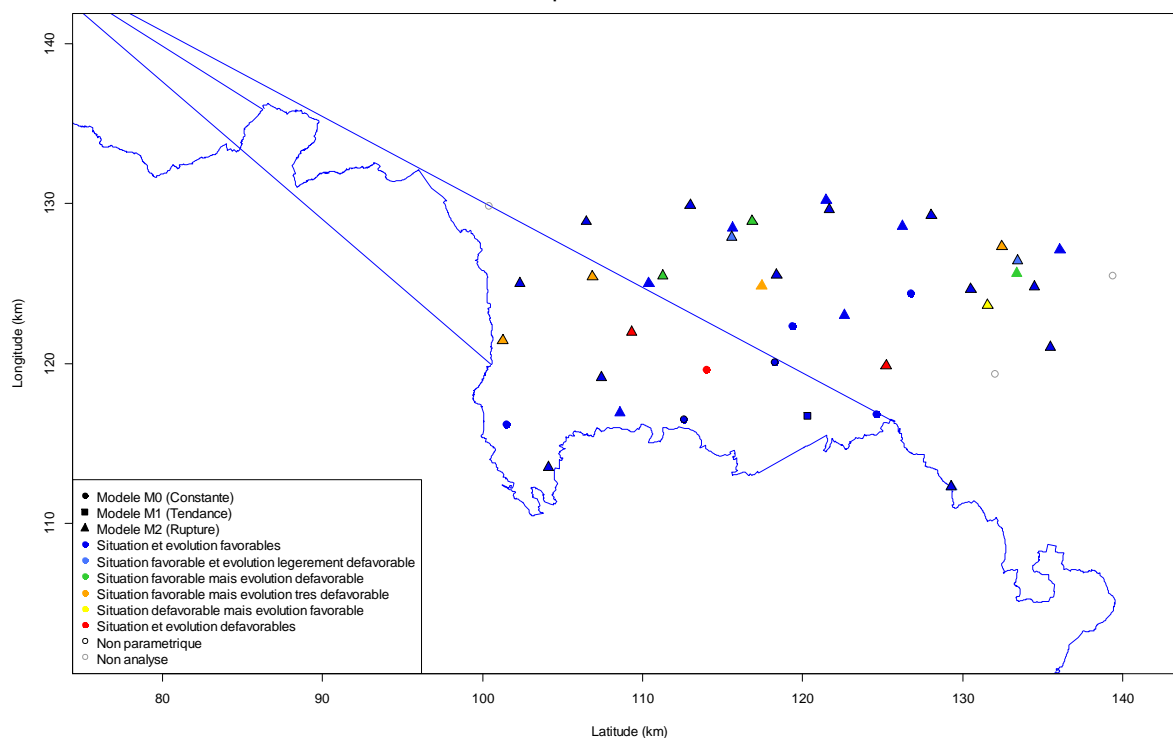
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	43
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	40
Tendance non-significative	17
Tendance significative	23

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	7	P	15	< 50 mg/l/an	36
M1	1	NP	25	≥ 50 mg/l/an	4
M2	32				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	3
Situation défavorable mais évolution favorable	1
Situation favorable mais évolution très défavorable	4
Situation favorable mais évolution défavorable	3
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	3
Situation et évolution favorables	26

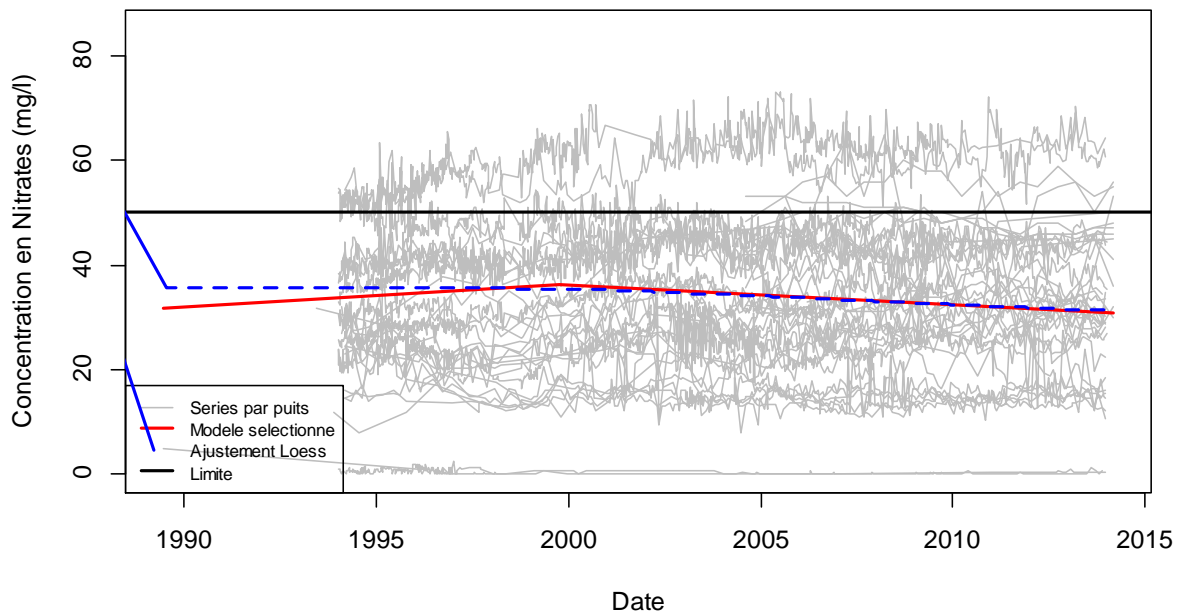
Cartographie des tendances

Synthèse des tendances
pour la masse E030

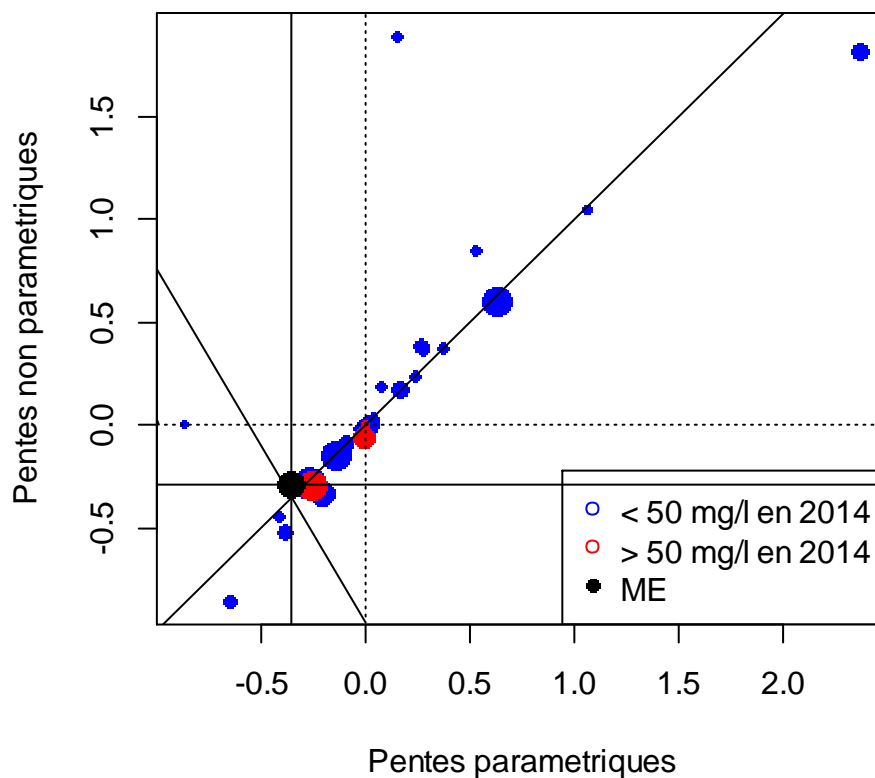
Nom de la masse d'eau : Craies du bassin de la Haine

Code : E030

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables de la vallée de la Haine

Code : E031

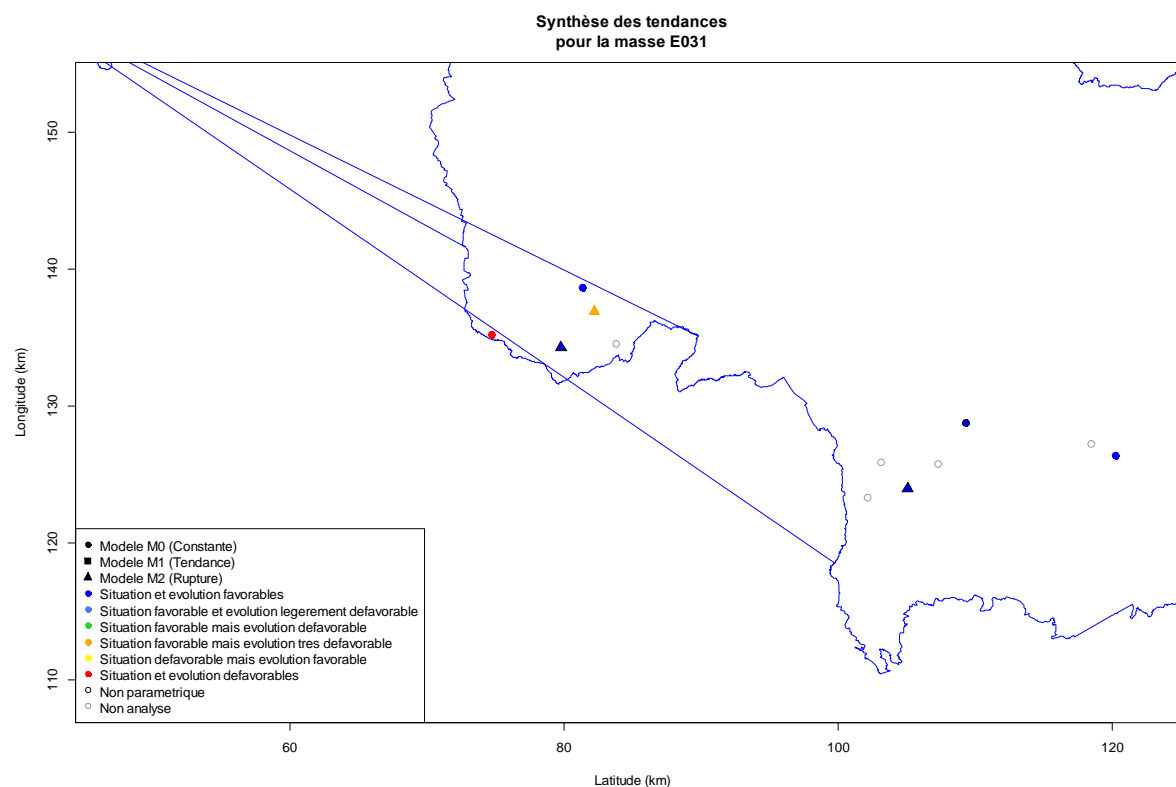
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	12
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	7
Tendance non-significative	5
Tendance significative	2

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	4	P	4	< 50 mg/l/an	6
M1	0	NP	3	≥ 50 mg/l/an	1
M2	3				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	1
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	5

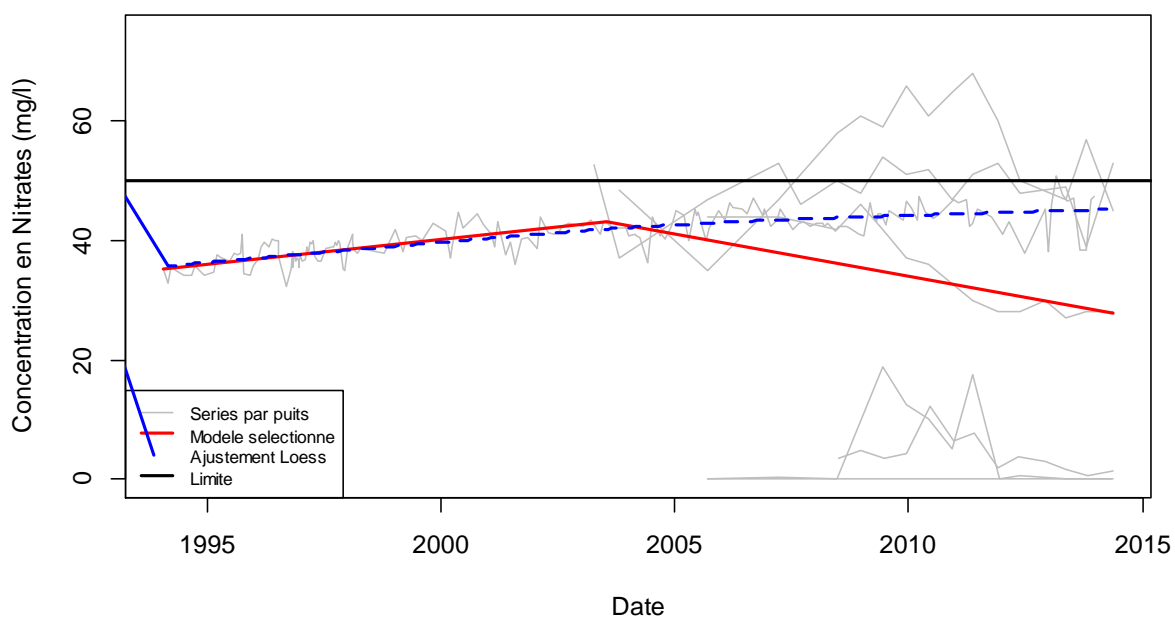
Cartographie des tendances



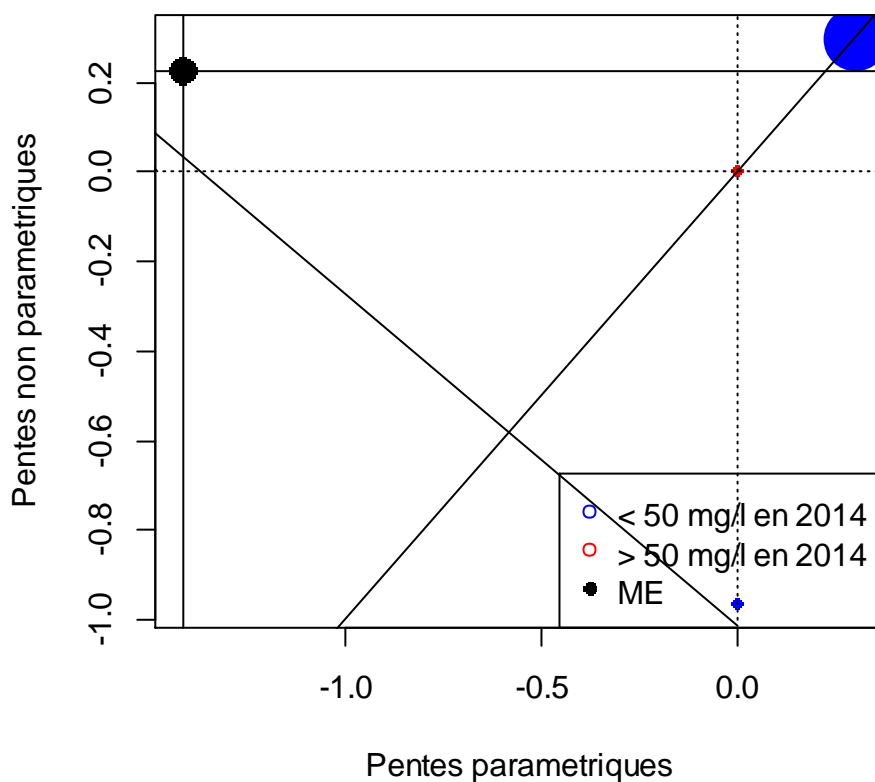
Nom de la masse d'eau : Sables de la vallée de la Haine

Code : E031

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Craies de la vallée de la Deûle

Code : E032

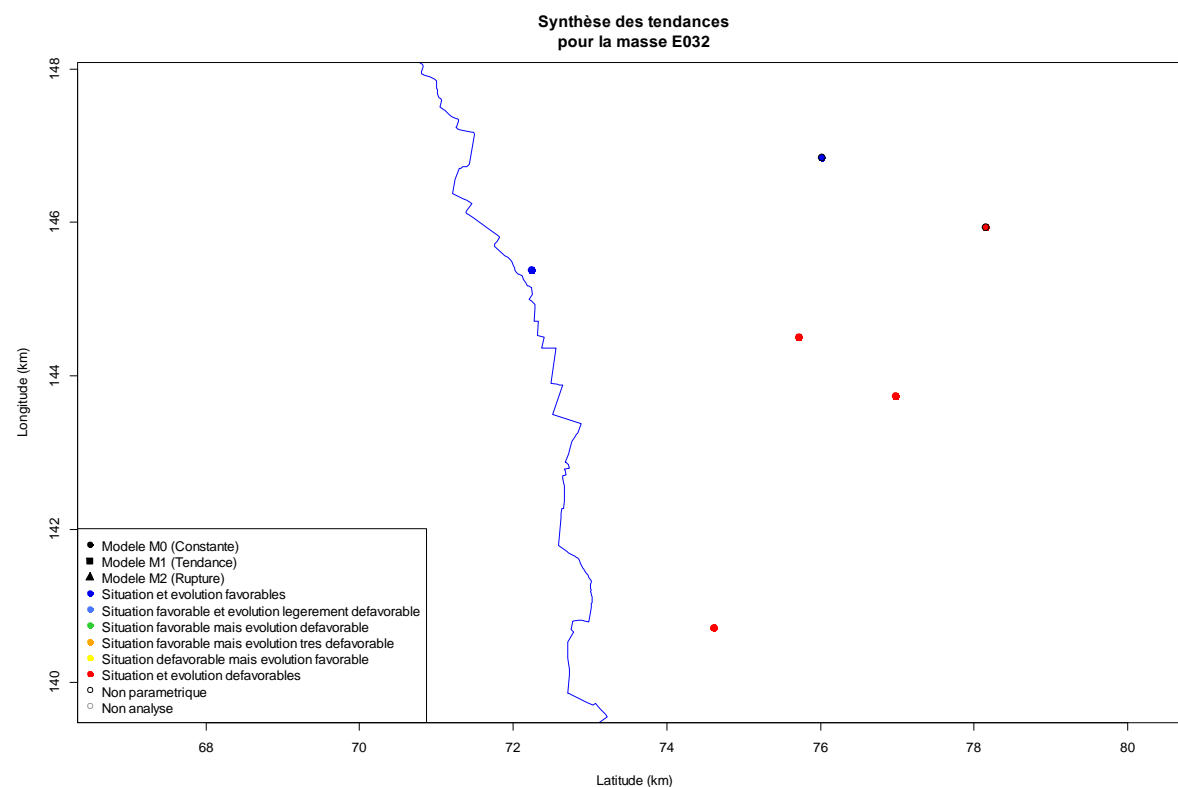
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		6	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		6	
Tendance non-significative		6	
Tendance significative		0	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	6	P	4	< 50 mg/l/an	2
M1	0	NP	2	≥ 50 mg/l/an	4
M2	0				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	4
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	2

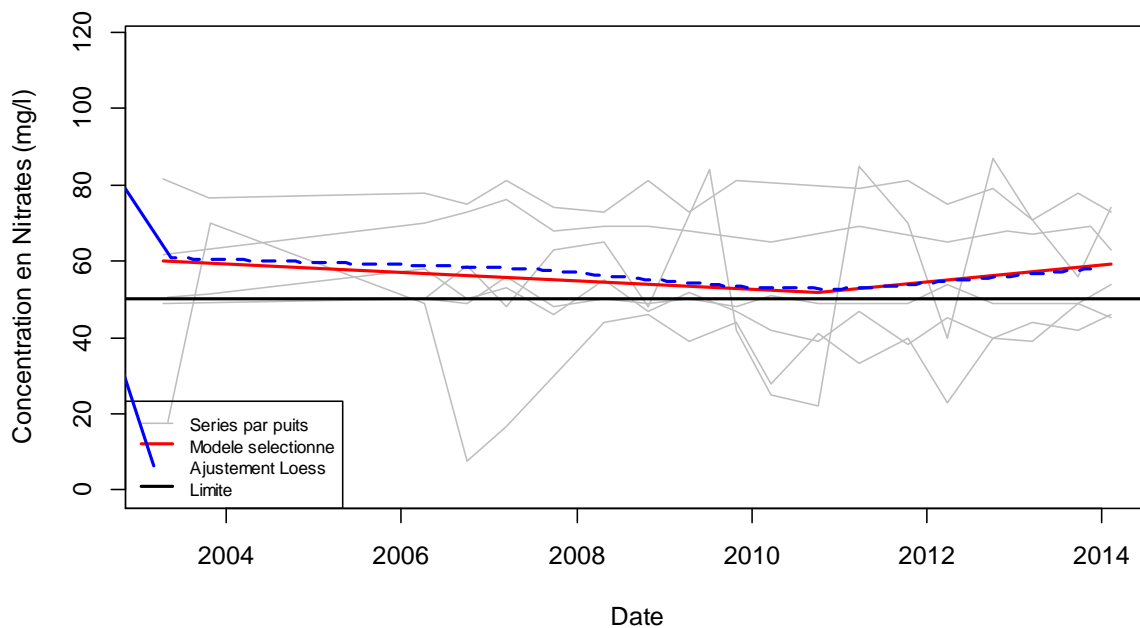
Cartographie des tendances



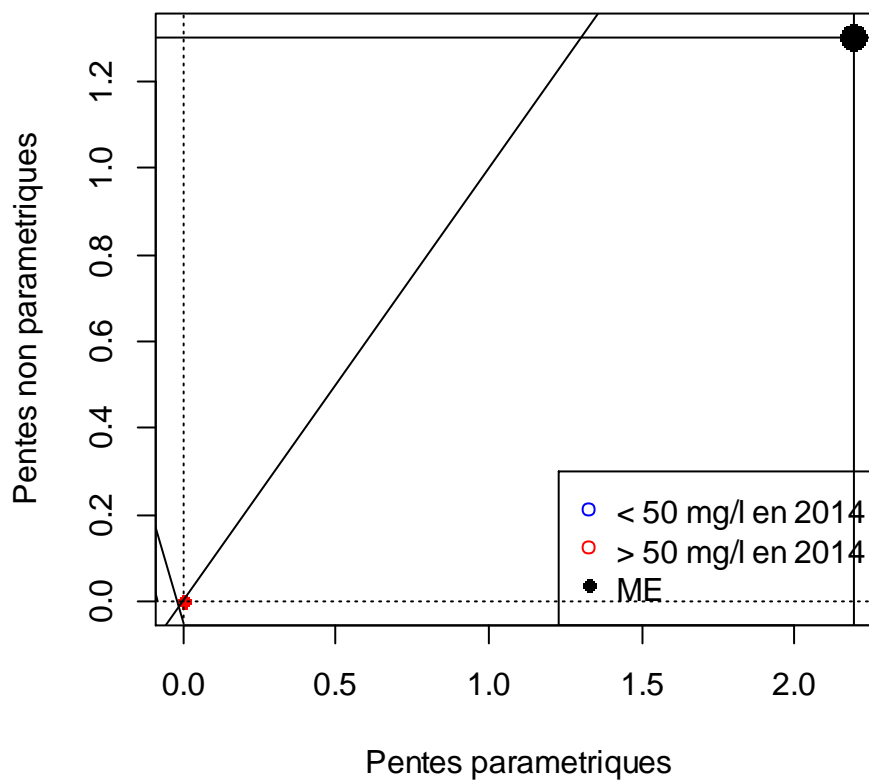
Nom de la masse d'eau : Craies de la vallée de la Deûle

Code : E032

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables du Bruxellien

Code : E051

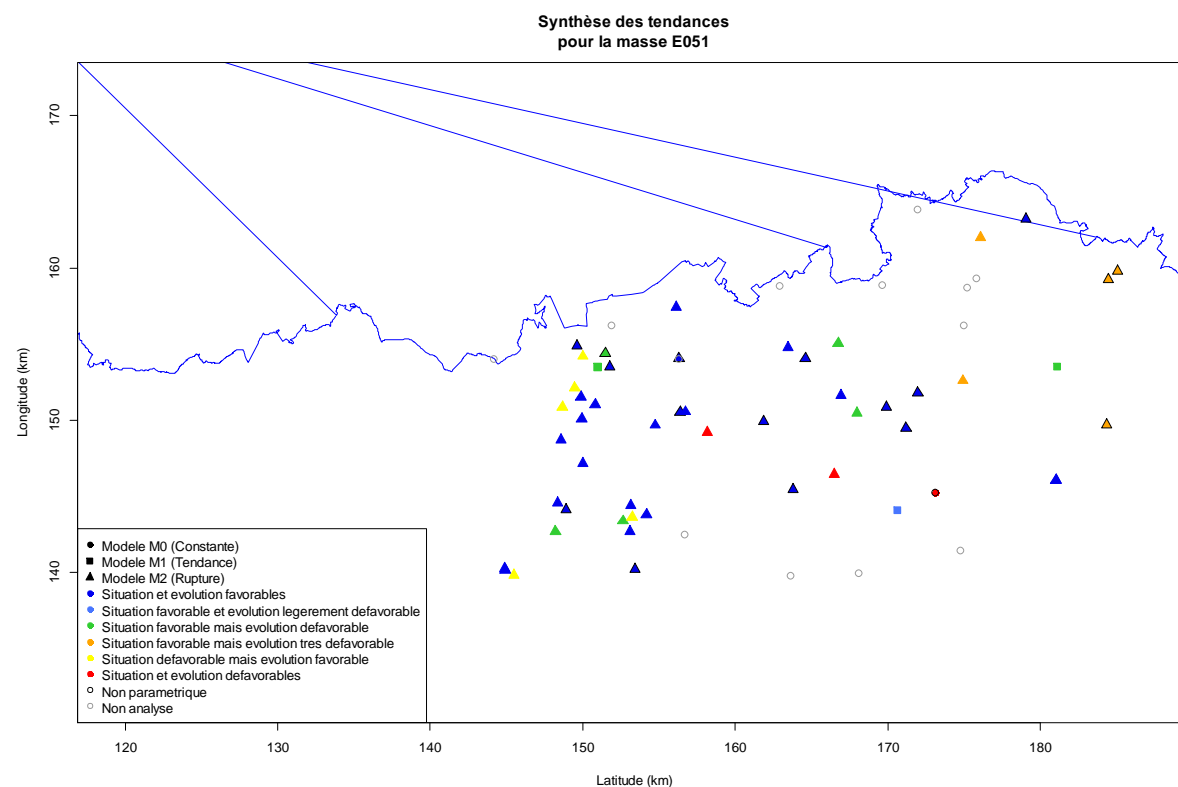
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	65
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	52
Tendance non-significative	8
Tendance significative	4

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	1	P	34	< 50 mg/l/an	44
M1	3	NP	18	≥ 50 mg/l/an	8
M2	48				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	3
Situation défavorable mais évolution favorable	5
Situation favorable mais évolution très défavorable	5
Situation favorable mais évolution défavorable	7
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	31

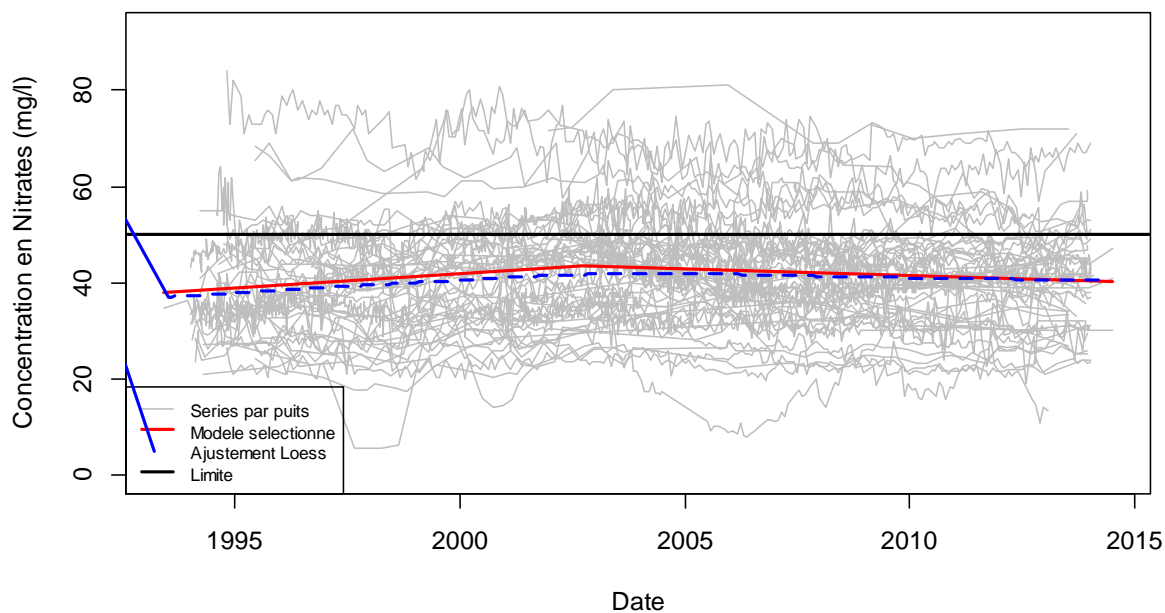
Cartographie des tendances



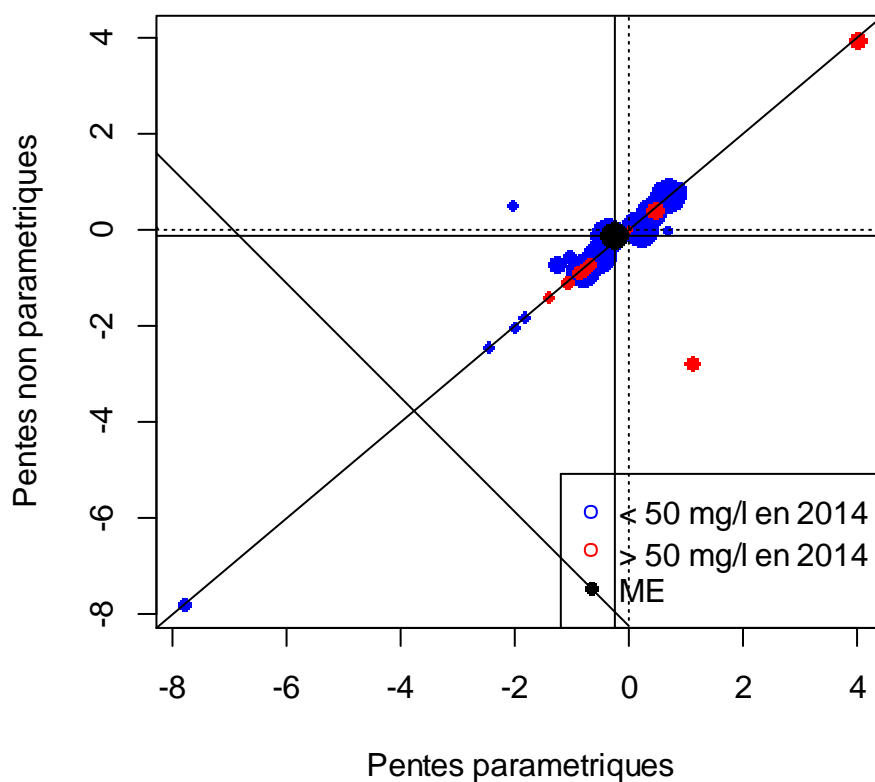
Nom de la masse d'eau : Sables du Bruxellien

Code : E051

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables du Landénien (Est)

Code : E053

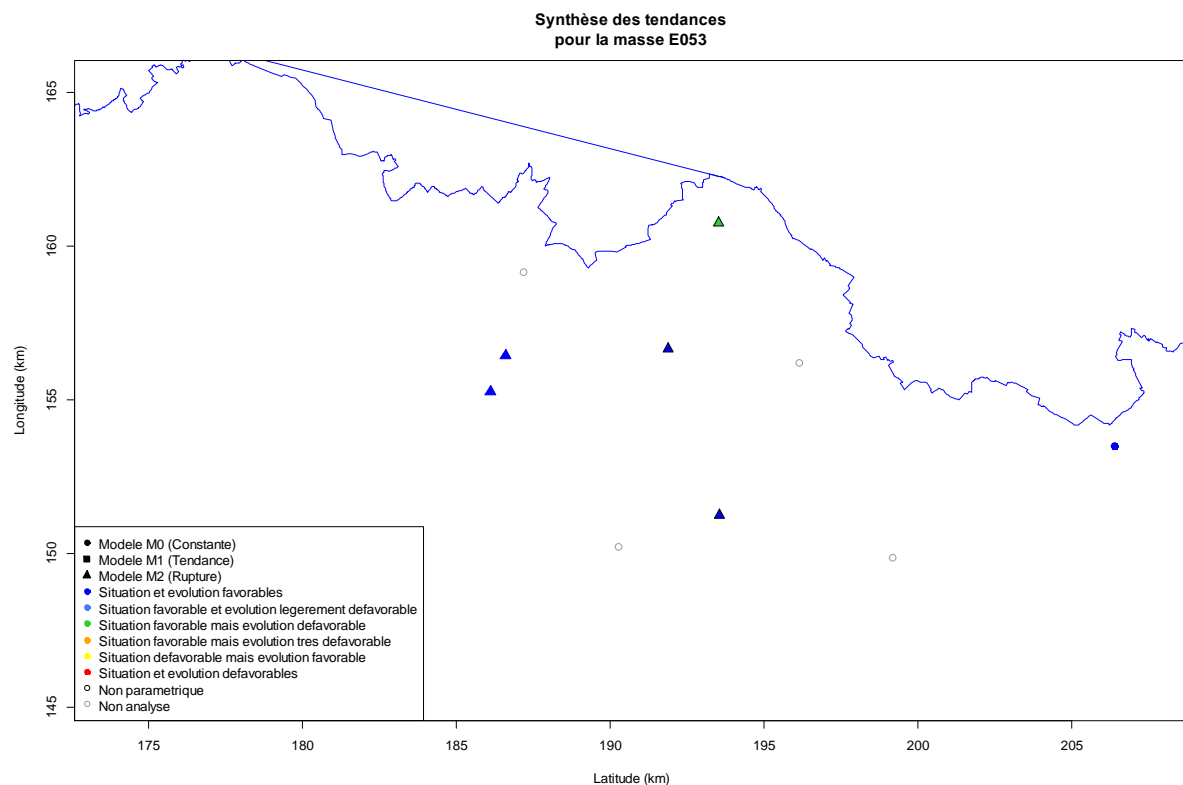
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	10
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	6
Tendance non-significative	4
Tendance significative	2

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	1	P	3	< 50 mg/l/an	6
M1	0	NP	3	≥ 50 mg/l/an	0
M2	5				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	5

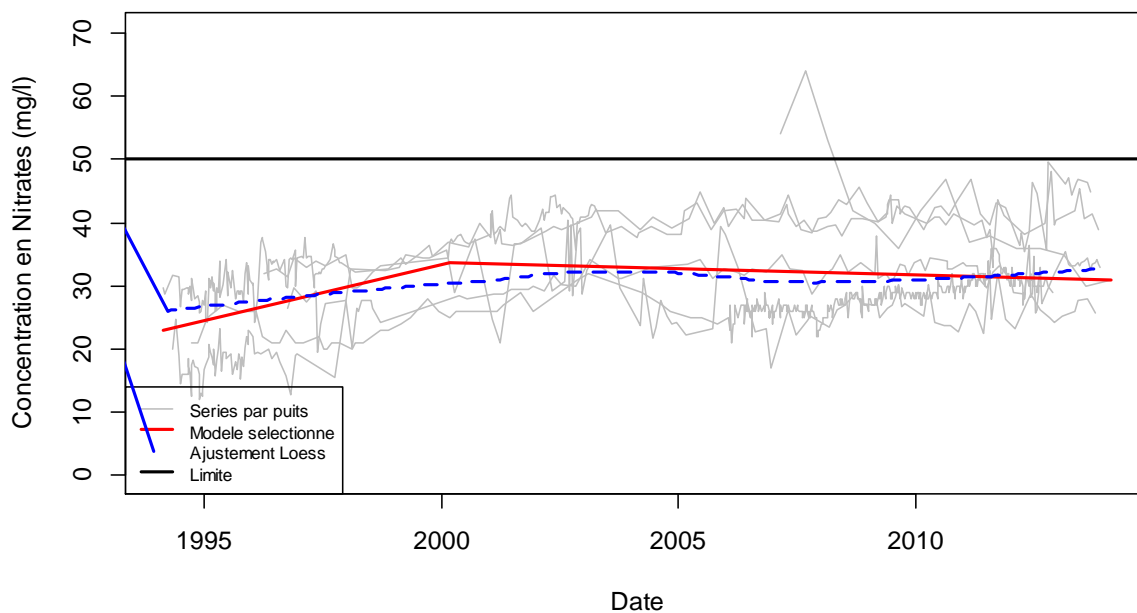
Cartographie des tendances



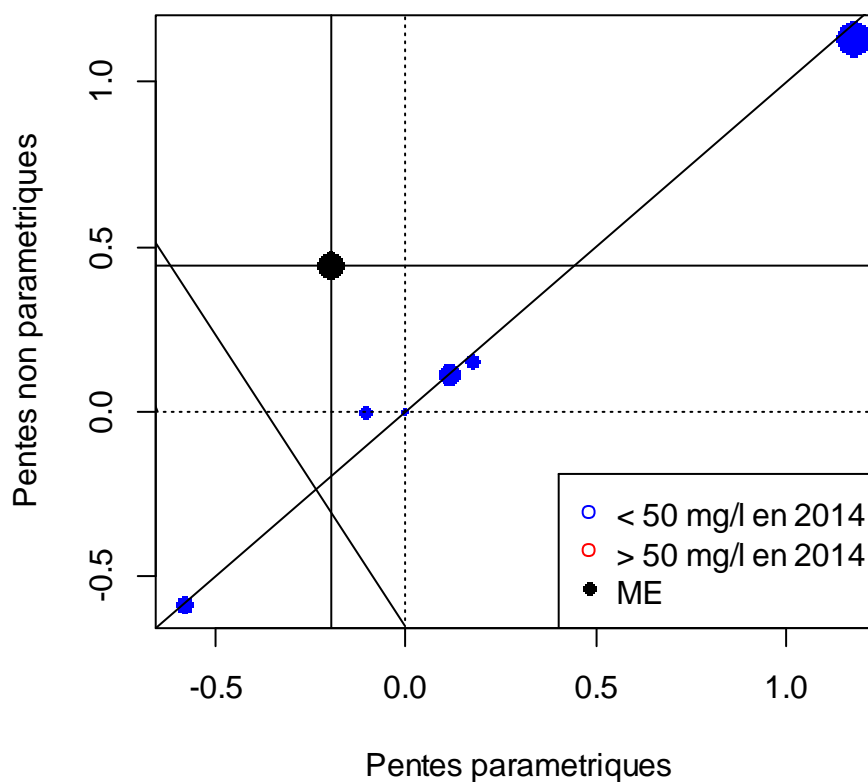
Nom de la masse d'eau : Sables du Landénien (Est)

Code : E053

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires du Tournaisis

Code : E060

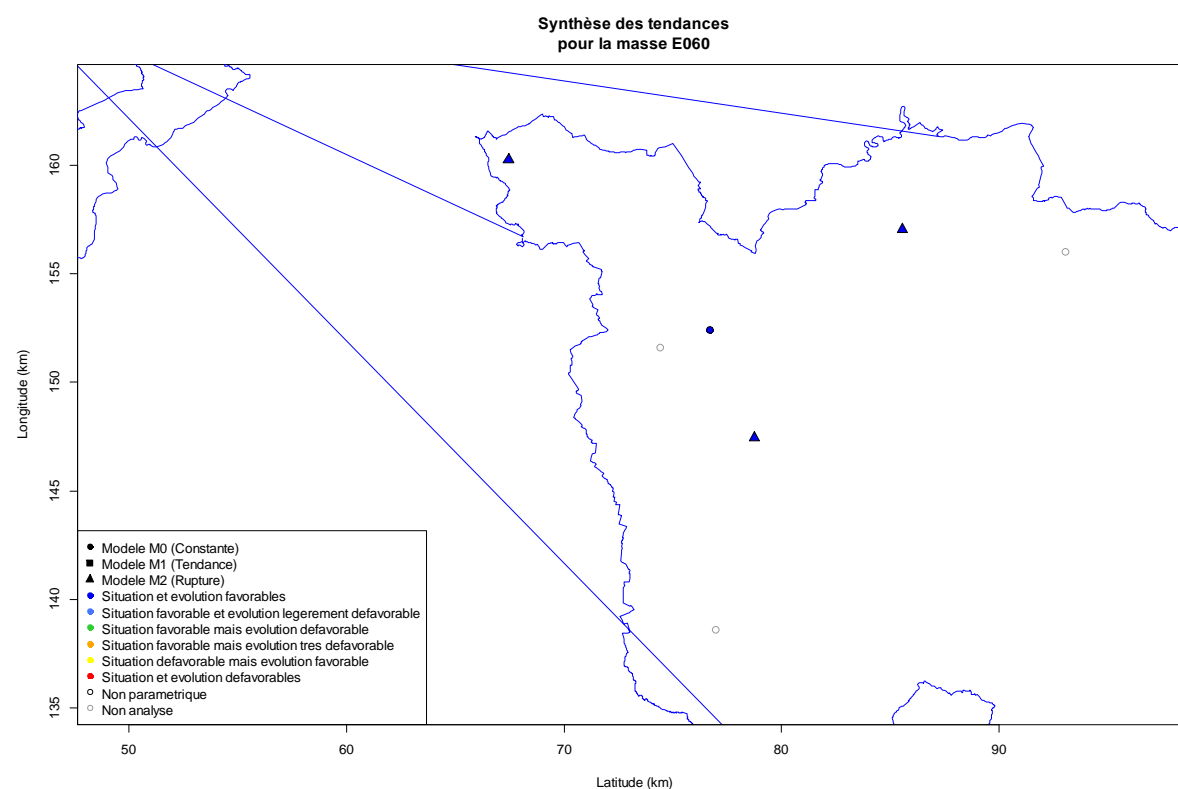
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	7
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	4
Tendance non-significative	2
Tendance significative	2

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	1	P	0	< 50 mg/l/an	4
M1	0	NP	4	≥ 50 mg/l/an	0
M2	3				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	4

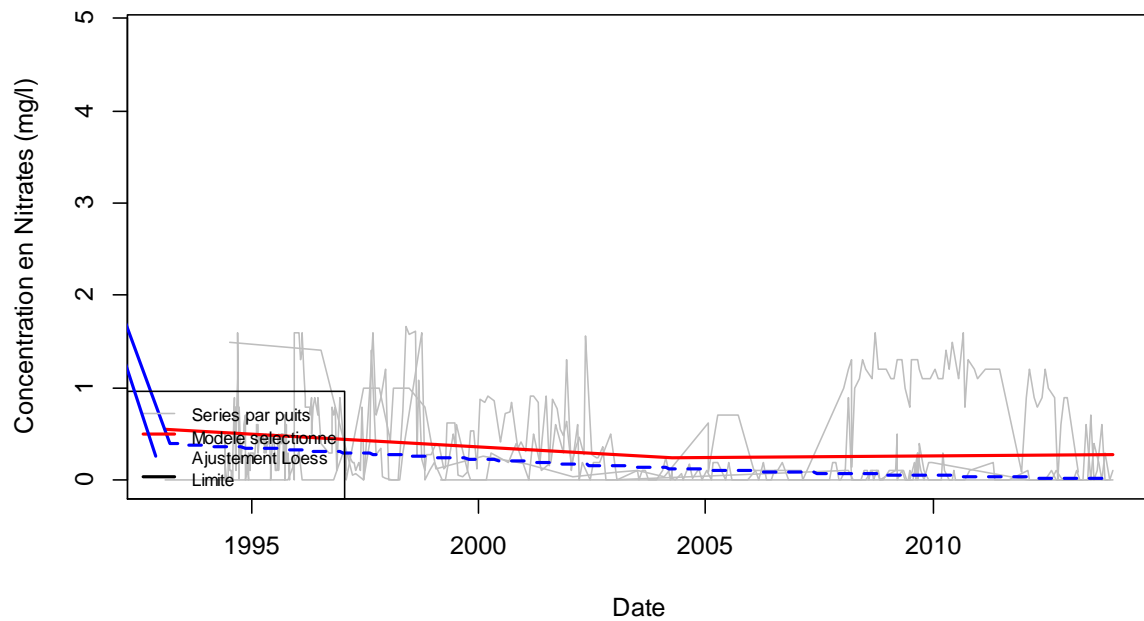
Cartographie des tendances



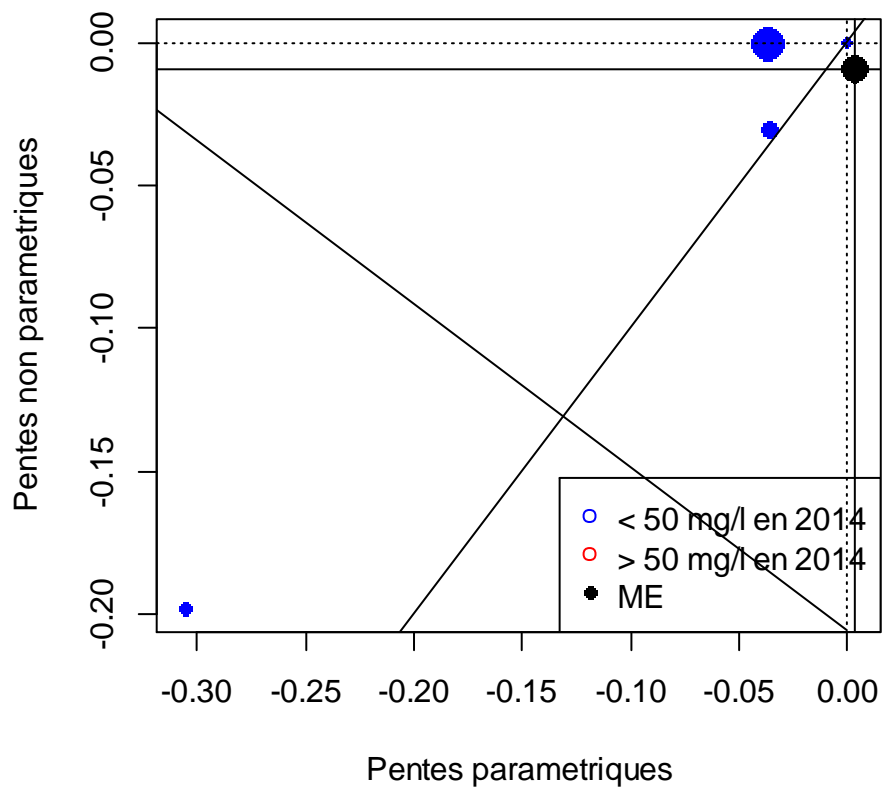
Nom de la masse d'eau : Calcaires du Tournaisis

Code : E060

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables des Flandres

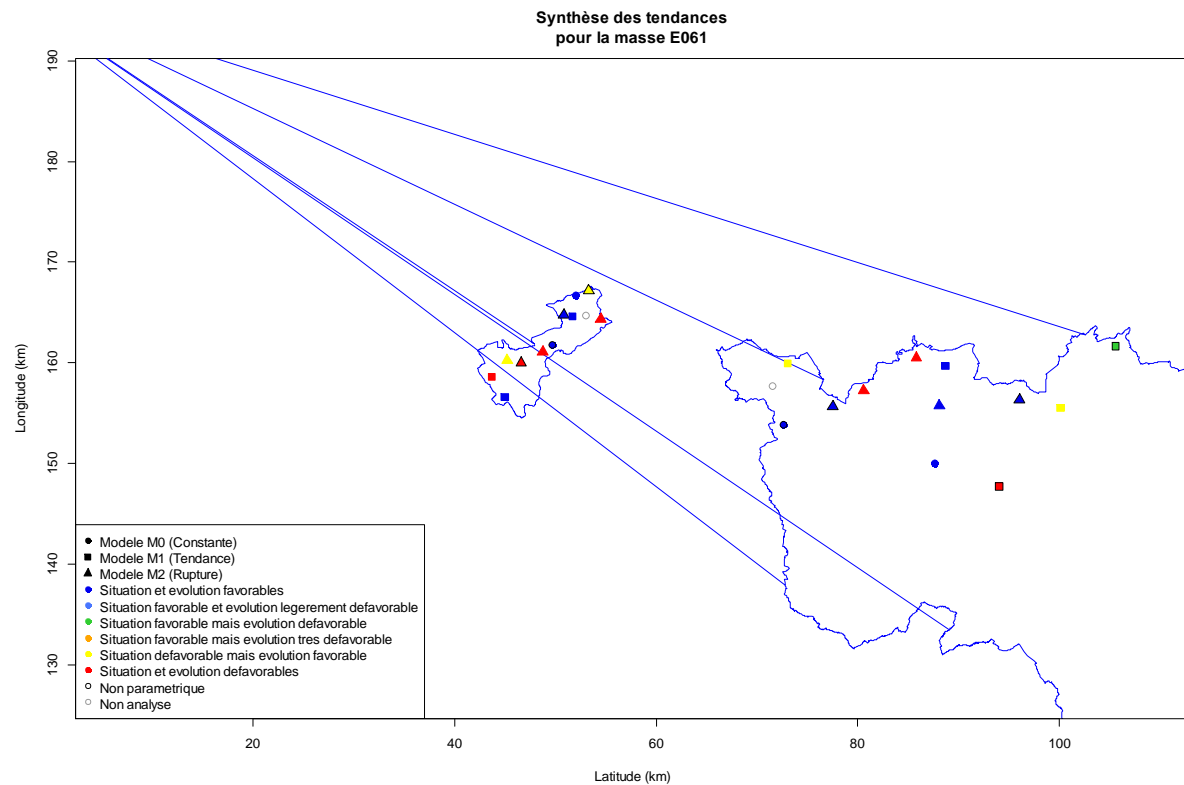
Code : E061

Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	25
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	23
Tendance non-significative	9
Tendance significative	14

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	4	P	14	< 50 mg/l/an	12
M1	8	NP	9	≥ 50 mg/l/an	11
M2	11				

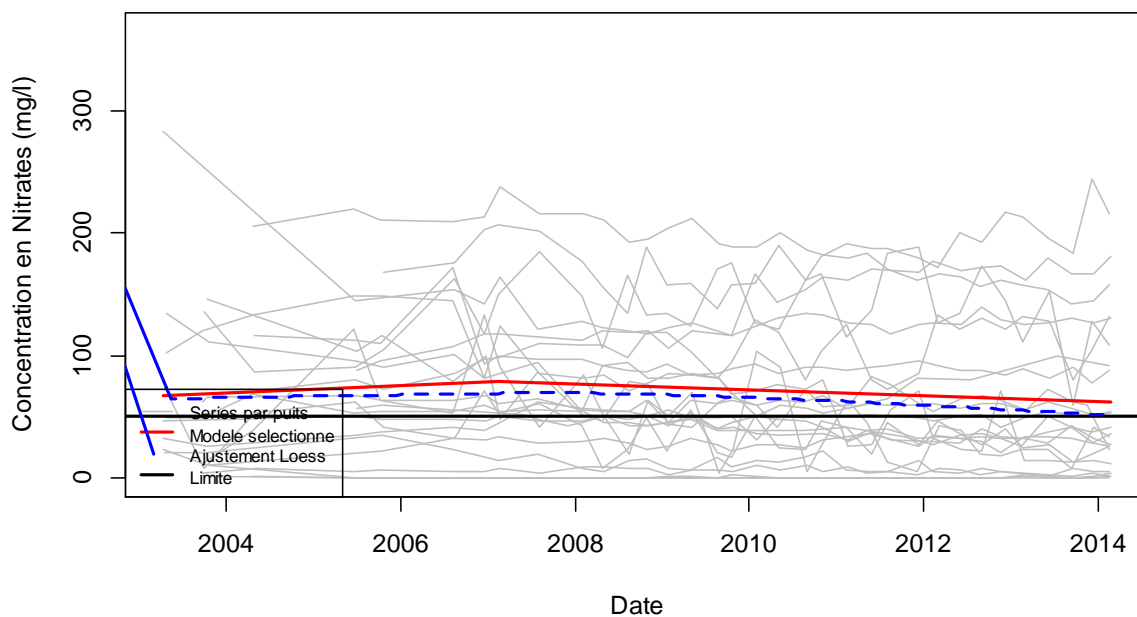
Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	7
Situation défavorable mais évolution favorable	4
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	11

Cartographie des tendances

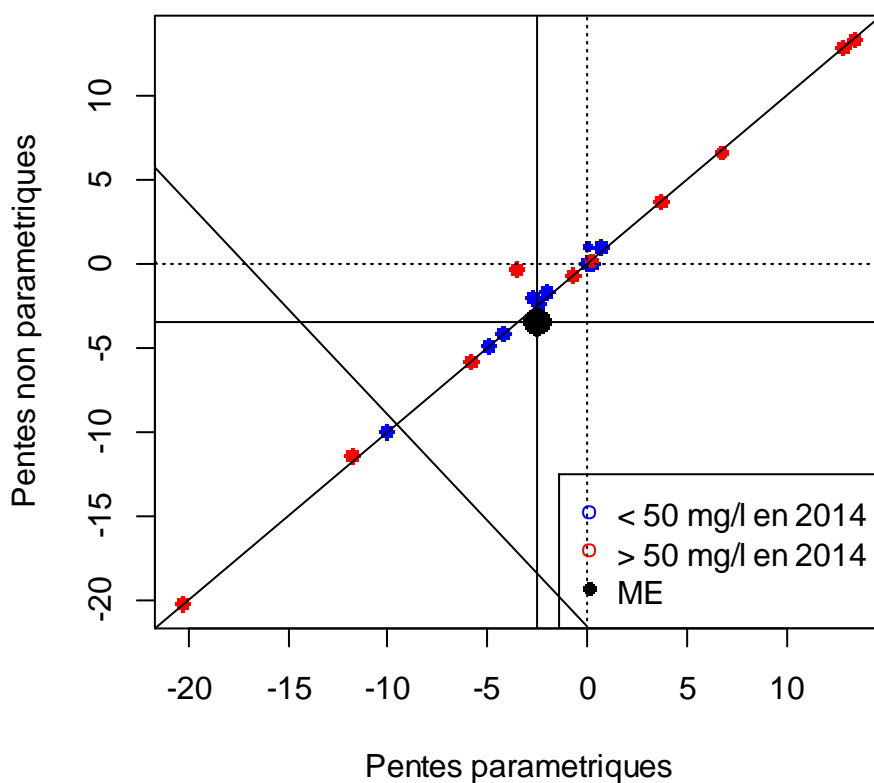
Nom de la masse d'eau : Sables des Flandres

Code : E061

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Craies captives du Brabant

Code : E080

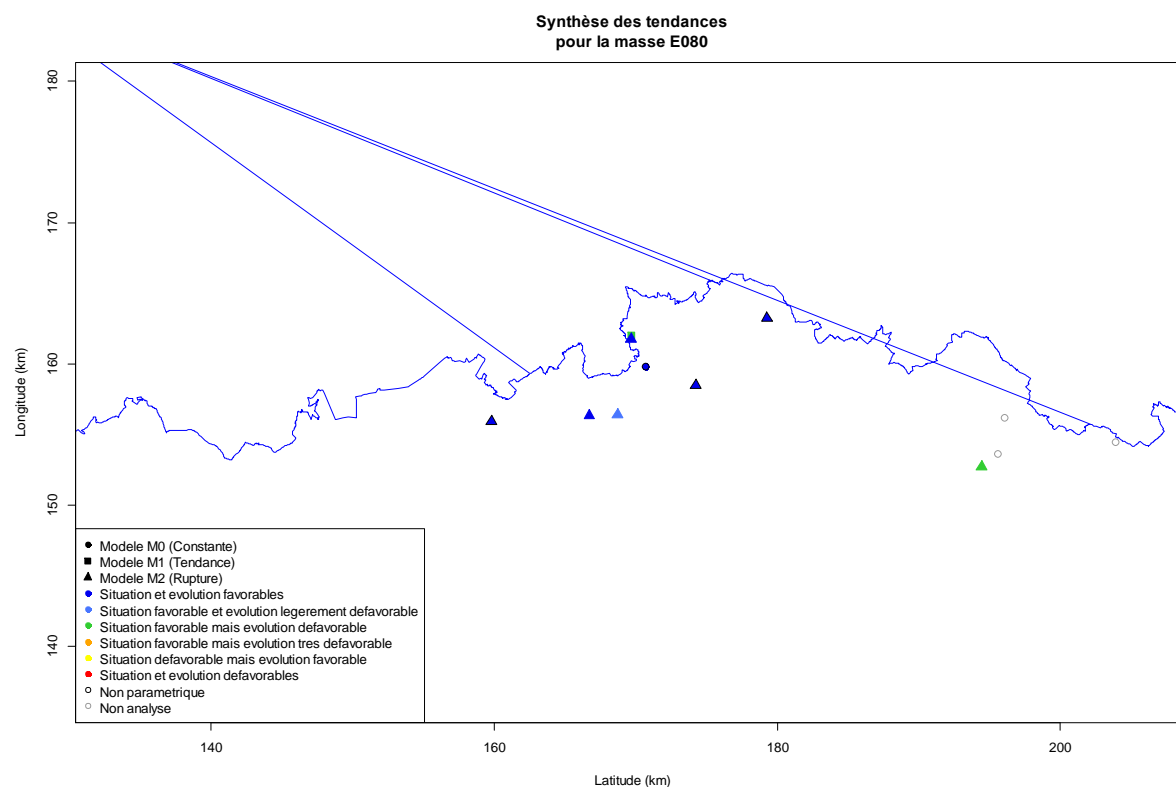
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	12
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	9
Tendance non-significative	2
Tendance significative	7

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	1	P	5	< 50 mg/l/an	9
M1	1	NP	4	≥ 50 mg/l/an	0
M2	7				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	6

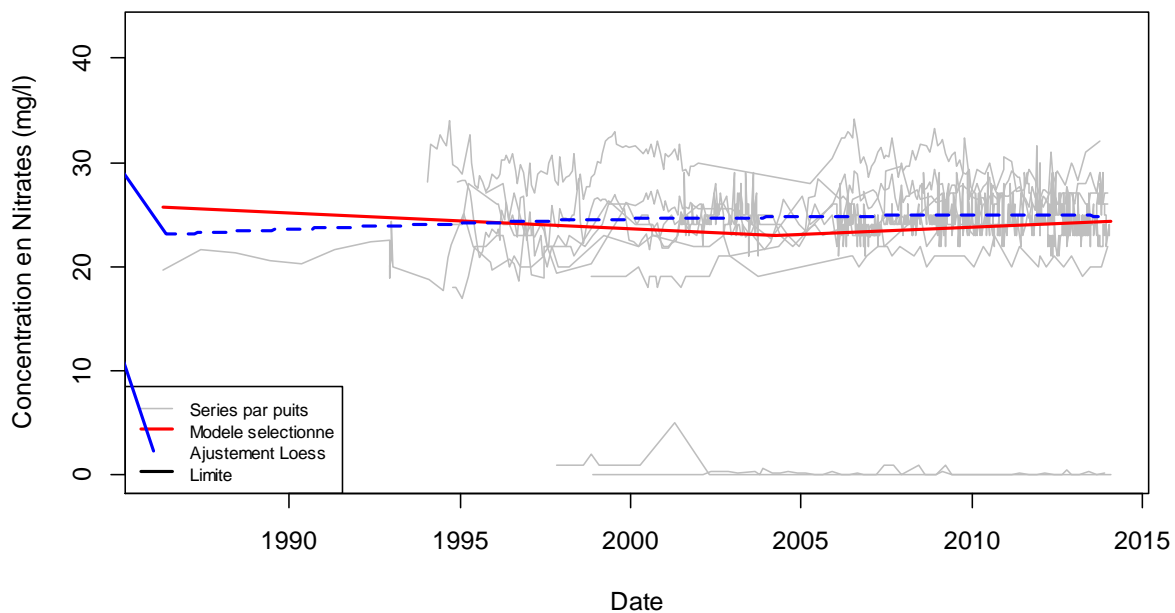
Cartographie des tendances



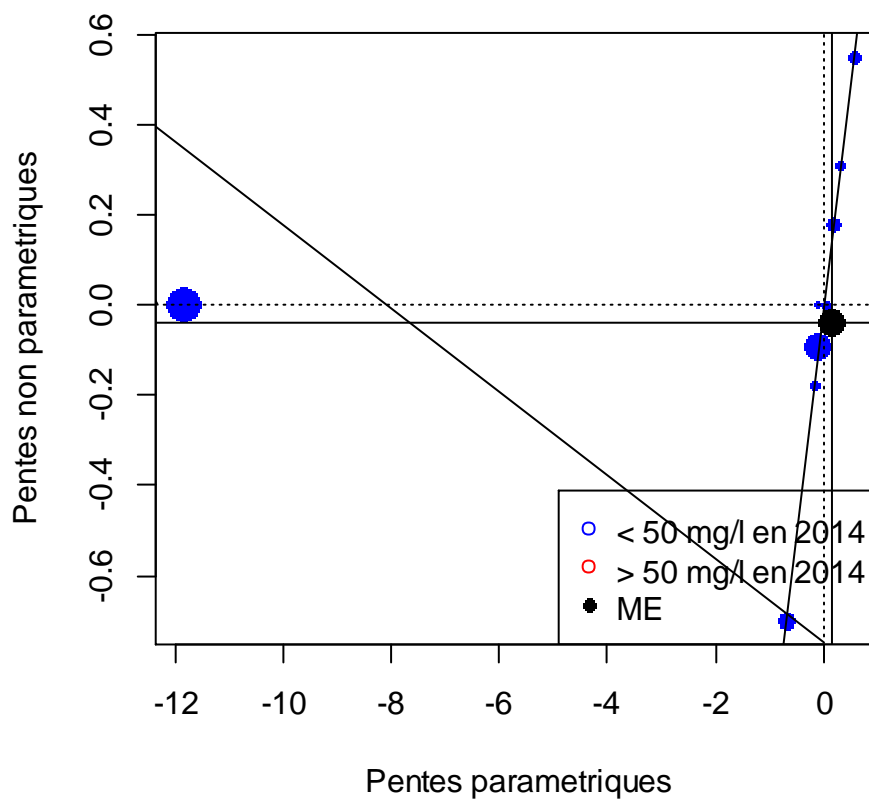
Nom de la masse d'eau : Craies captives du Brabant

Code : E080

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Socle du Brabant

Code : E160

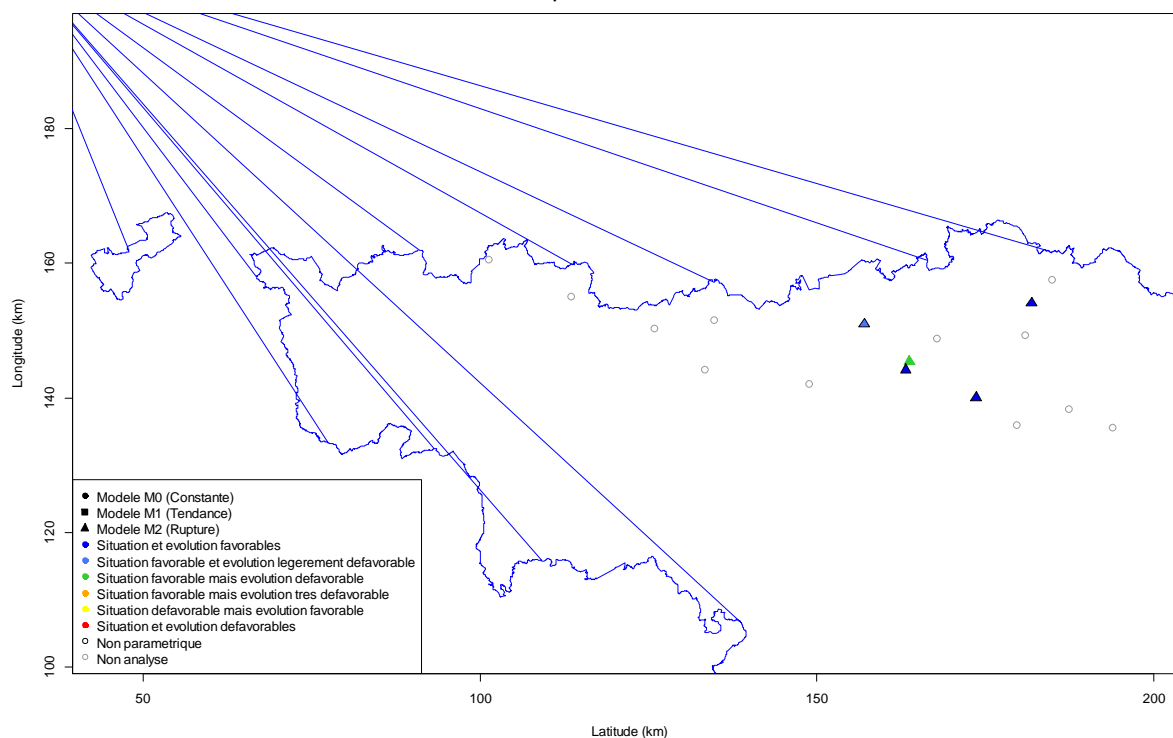
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	17
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	5
Tendance non-significative	3
Tendance significative	2

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	0	P	1	< 50 mg/l/an	5
M1	0	NP	4	≥ 50 mg/l/an	0
M2	5				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	3

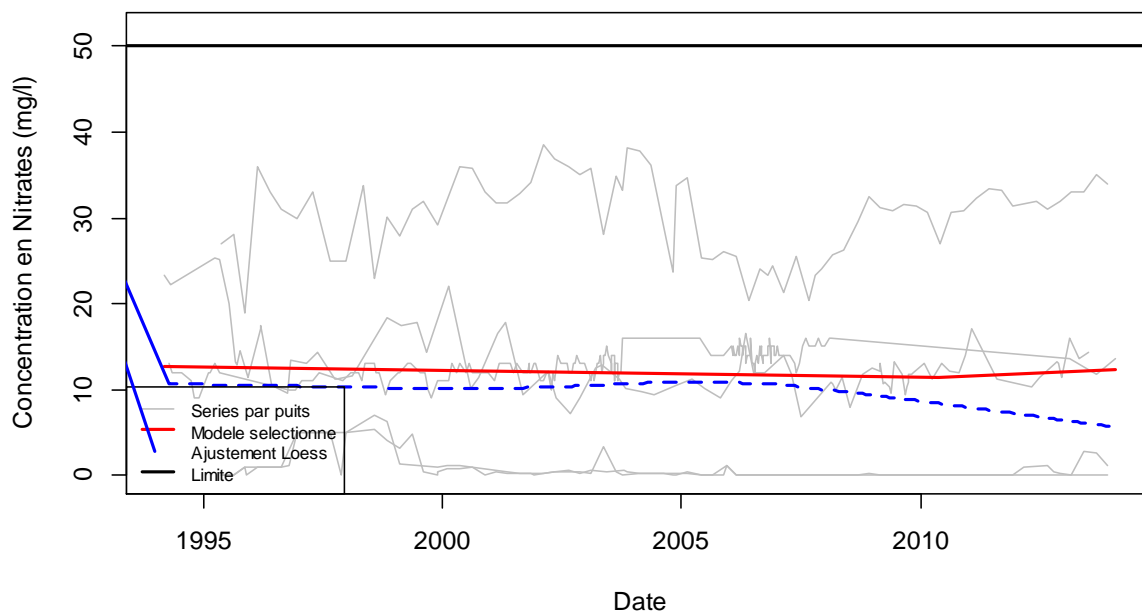
Cartographie des tendances

Synthèse des tendances
pour la masse E160

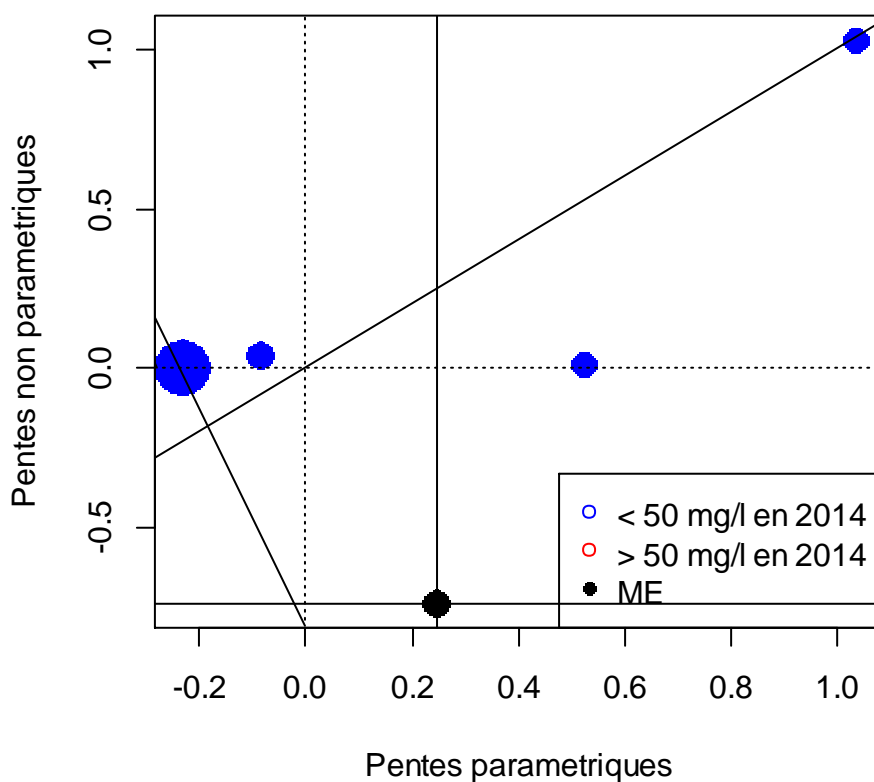
Nom de la masse d'eau : Socle du Brabant

Code : E160

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires du bassin de la Meuse bord Nord

Code : M011

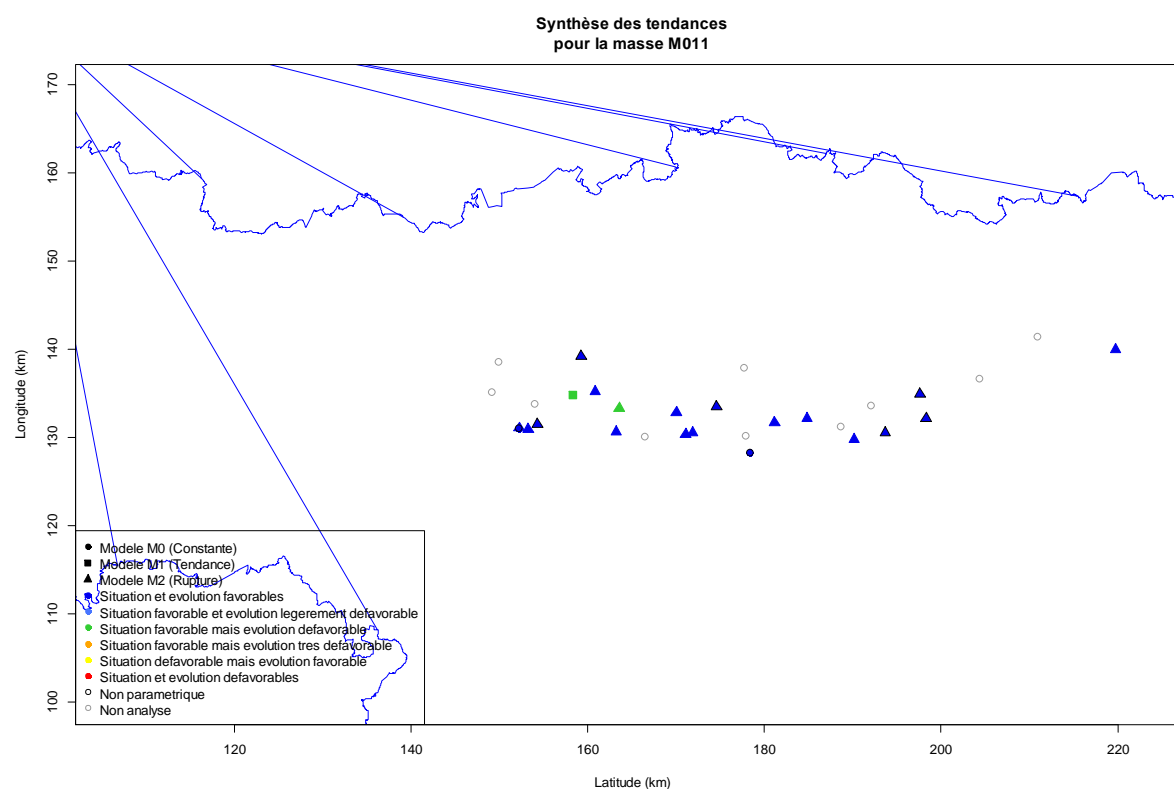
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	31
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	21
Tendance non-significative	4
Tendance significative	17

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	2	P	13	< 50 mg/l/an	21
M1	1	NP	8	≥ 50 mg/l/an	0
M2	18				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	19

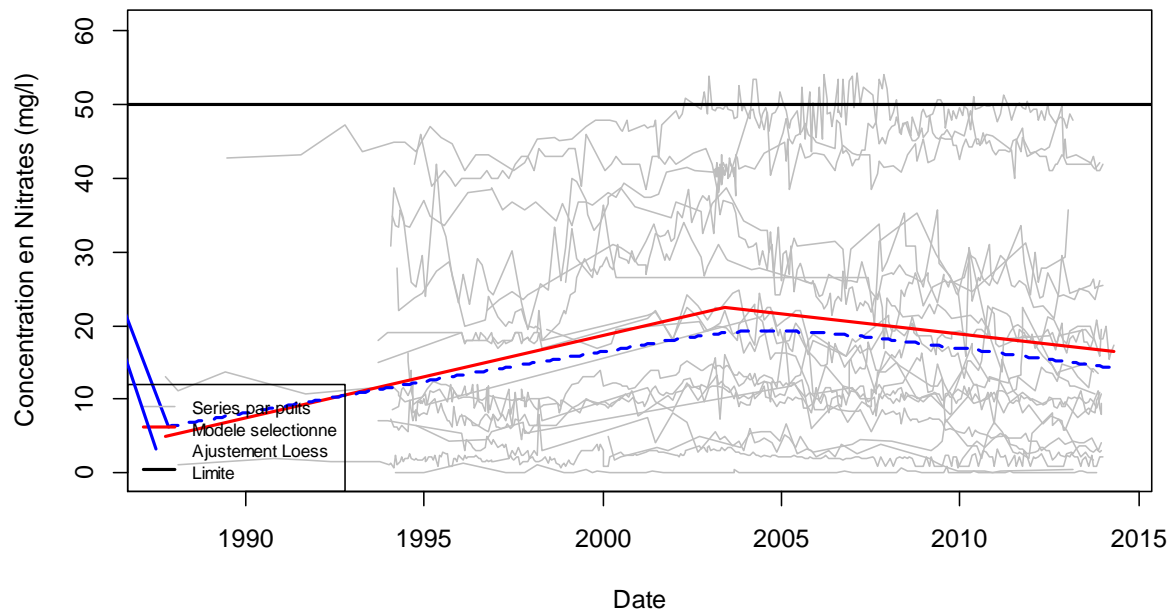
Cartographie des tendances



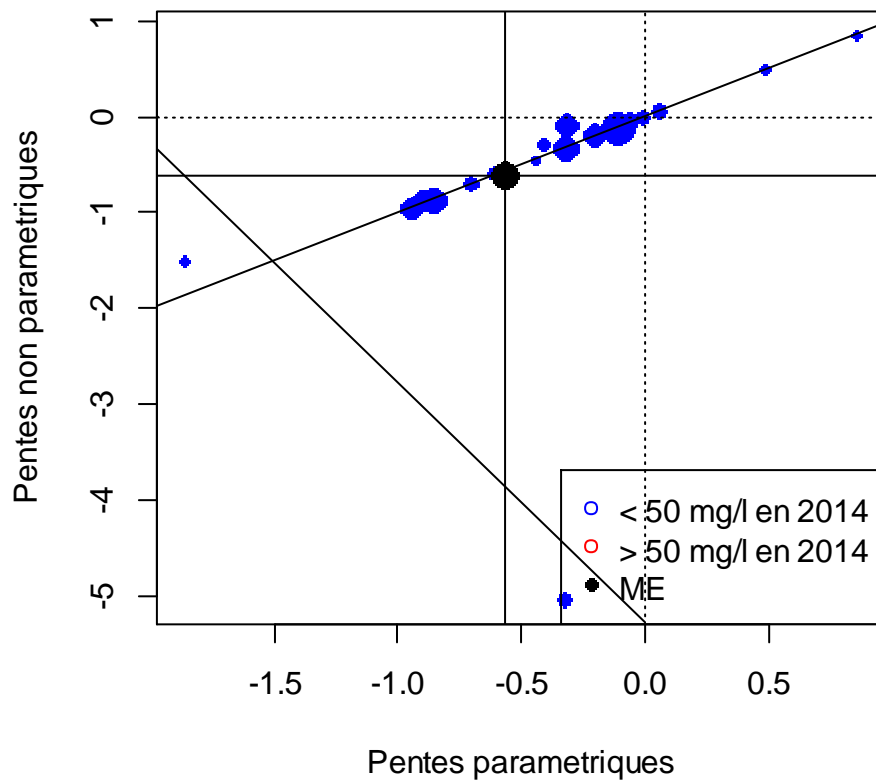
Nom de la masse d'eau : Calcaires du bassin de la Meuse bord Nord

Code : M011

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires du bassin de la Meuse bord Sud

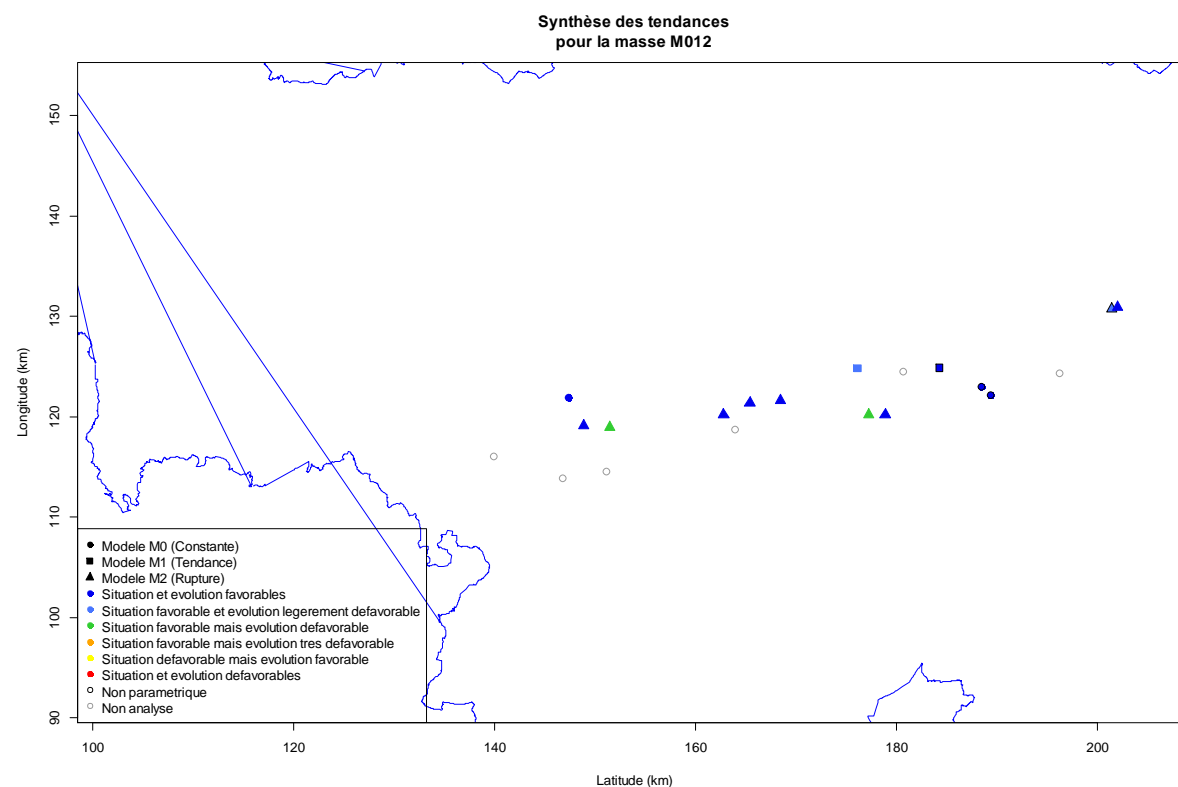
Code : M012

Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	20
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	14
Tendance non-significative	3
Tendance significative	11

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	3	P	10	< 50 mg/l/an	14
M1	2	NP	4	≥ 50 mg/l/an	0
M2	9				

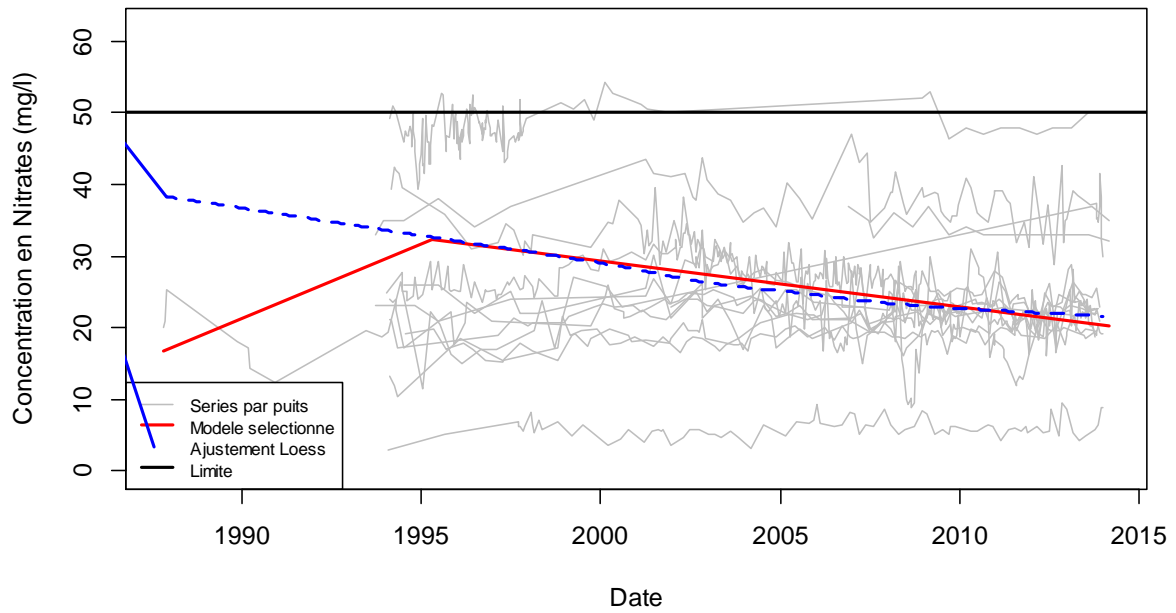
Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	2
Situation et évolution favorables	10

Cartographie des tendances

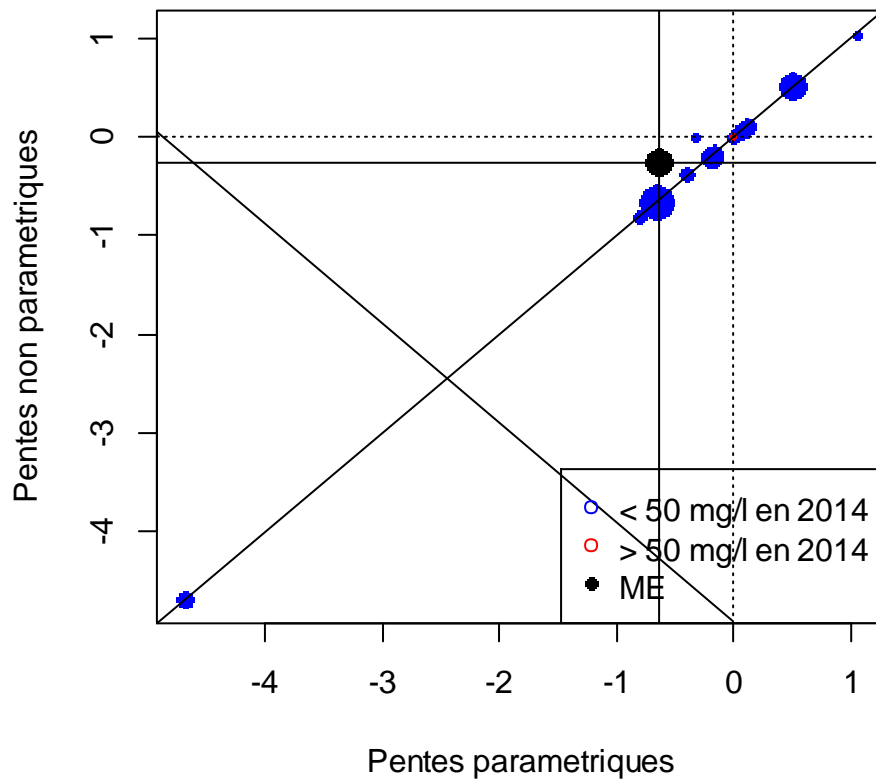
Nom de la masse d'eau : Calcaires du bassin de la Meuse bord Sud

Code : M012

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès du Condroz

Code : M021

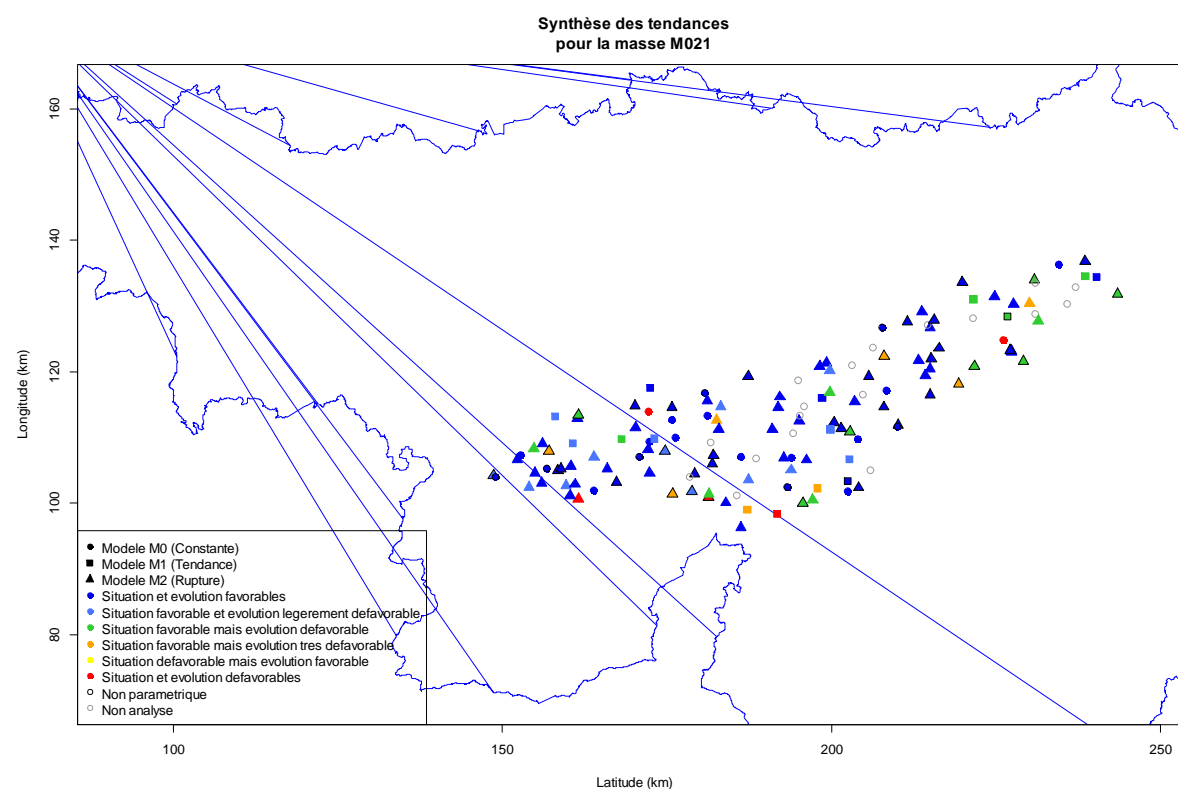
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	143
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	125
Tendance non-significative	42
Tendance significative	83

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	21	P	77	< 50 mg/l/an	120
M1	16	NP	48	≥ 50 mg/l/an	5
M2	88				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	5
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	8
Situation favorable mais évolution défavorable	16
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	15
Situation et évolution favorables	81

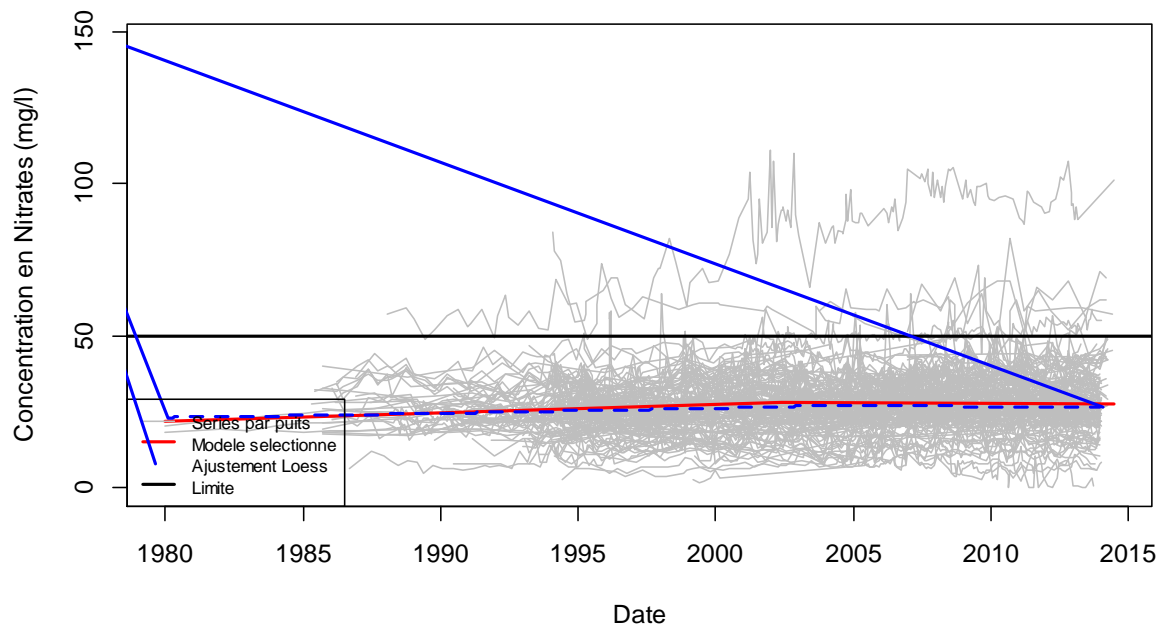
Cartographie des tendances



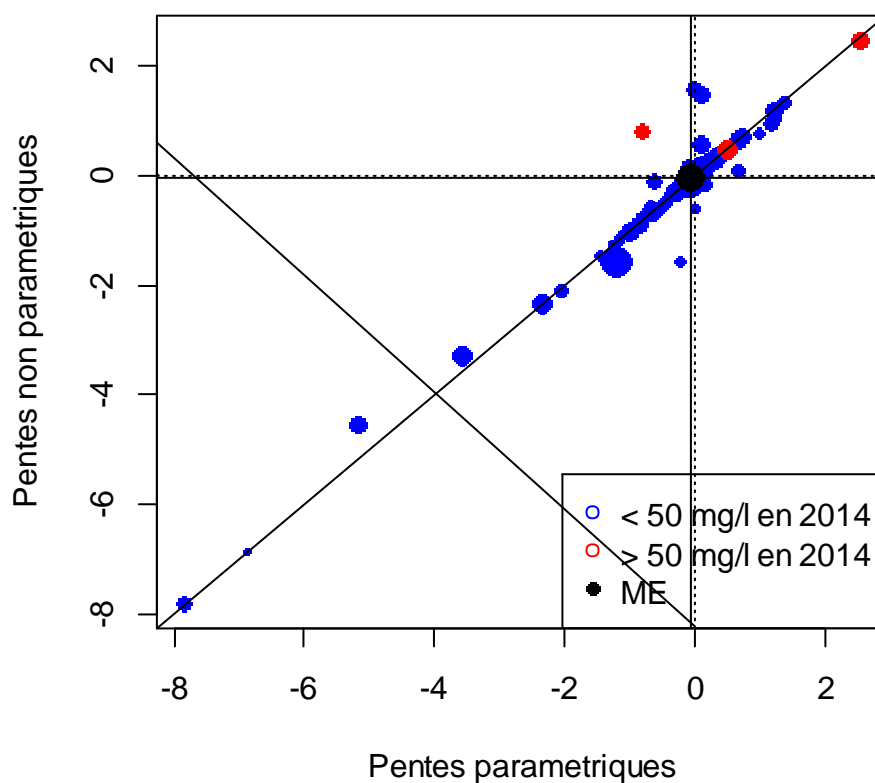
Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès du Condroz

Code : M021

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès du bassin de la Sambre

Code : M022

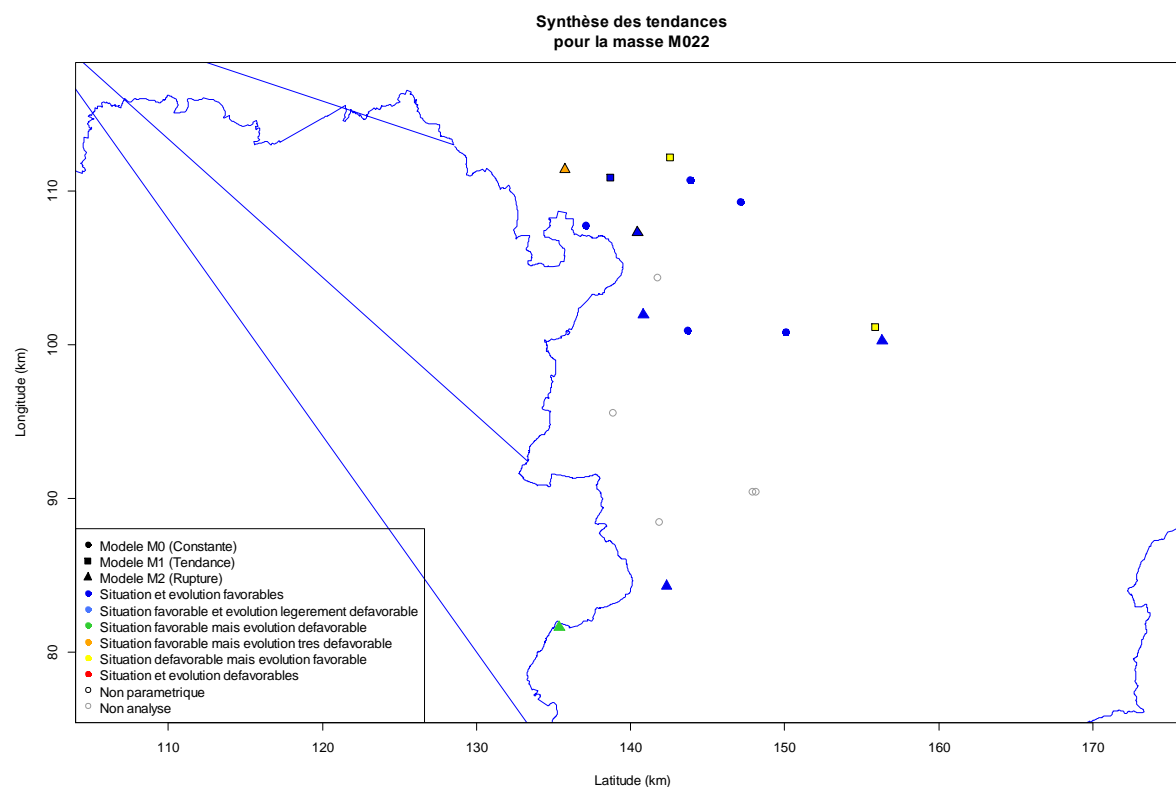
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	19
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	14
Tendance non-significative	6
Tendance significative	8

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	5	P	9	< 50 mg/l/an	12
M1	3	NP	5	≥ 50 mg/l/an	2
M2	6				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	2
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	10

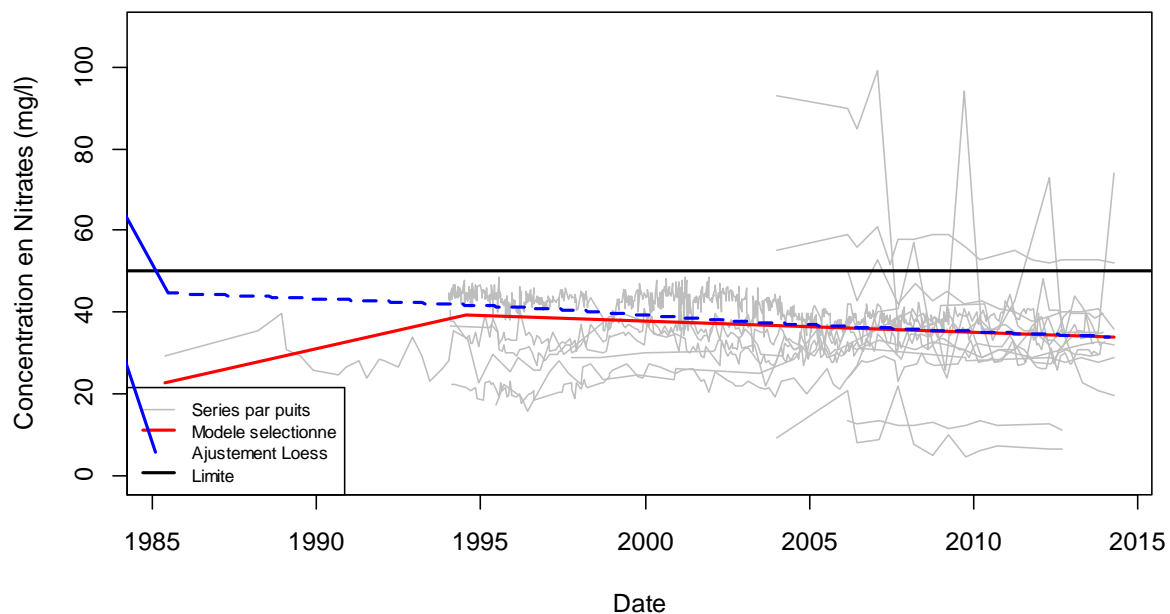
Cartographie des tendances



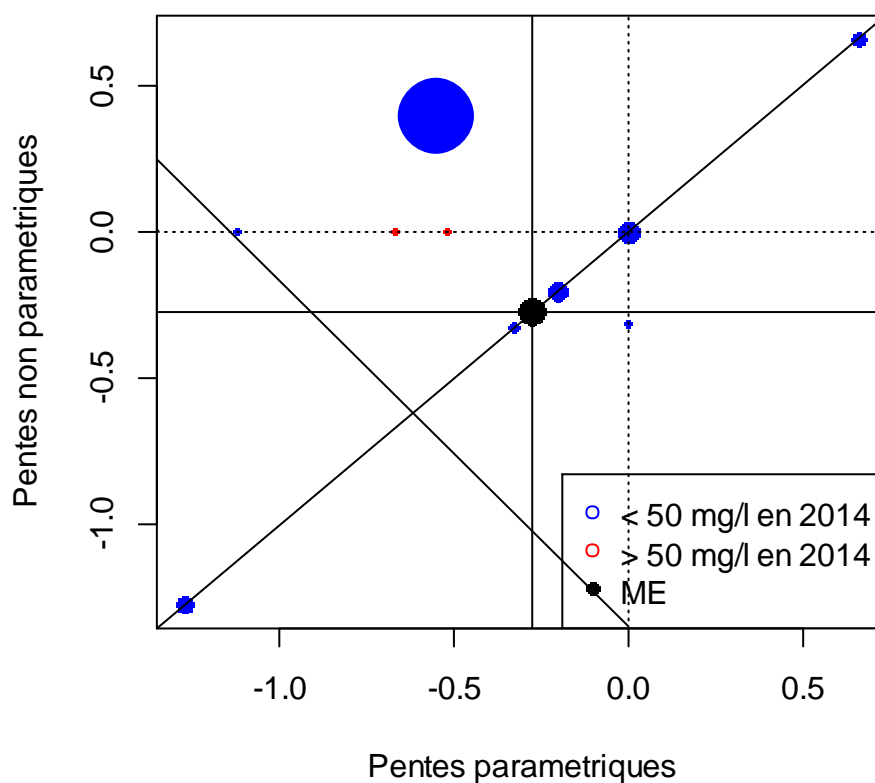
Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès du bassin de la Sambre

Code : M022

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès de la Caestienne et de la Famenne

Code : M023

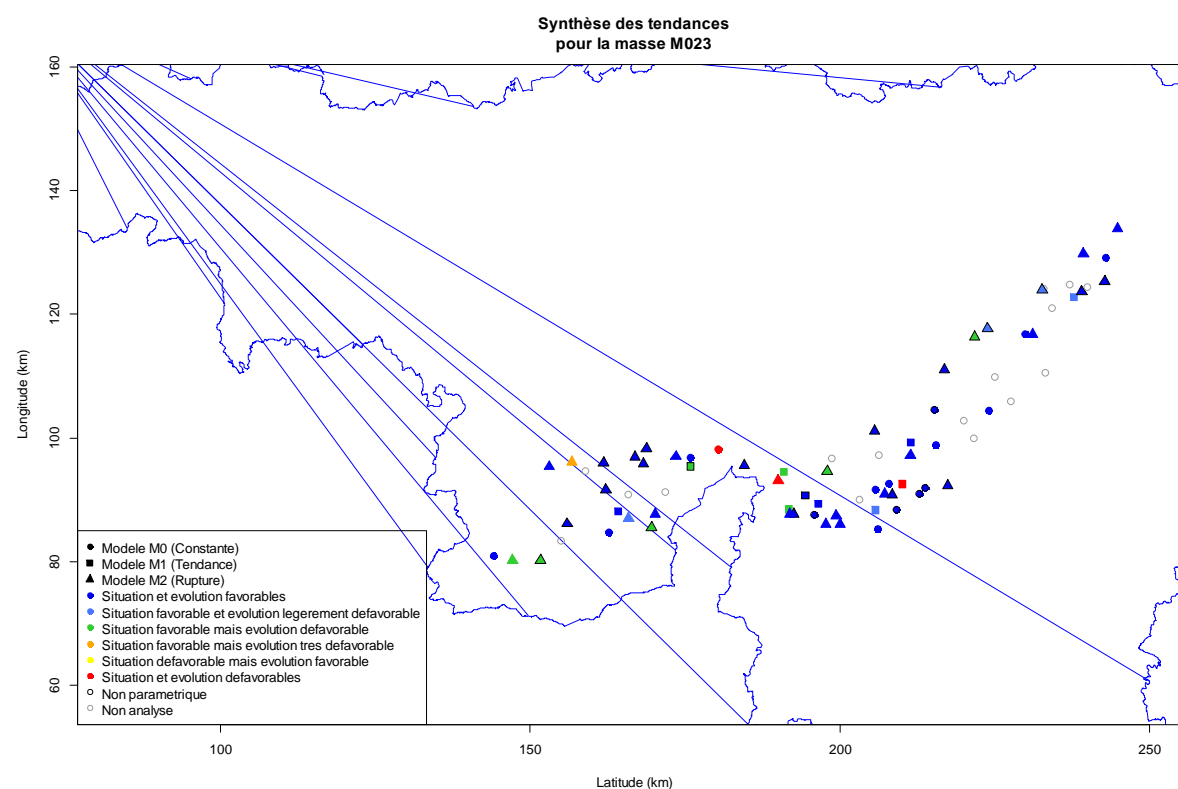
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	78
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	62
Tendance non-significative	24
Tendance significative	38

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	16	P	35	< 50 mg/l/an	59
M1	10	NP	27	≥ 50 mg/l/an	3
M2	36				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	3
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	8
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	5
Situation et évolution favorables	45

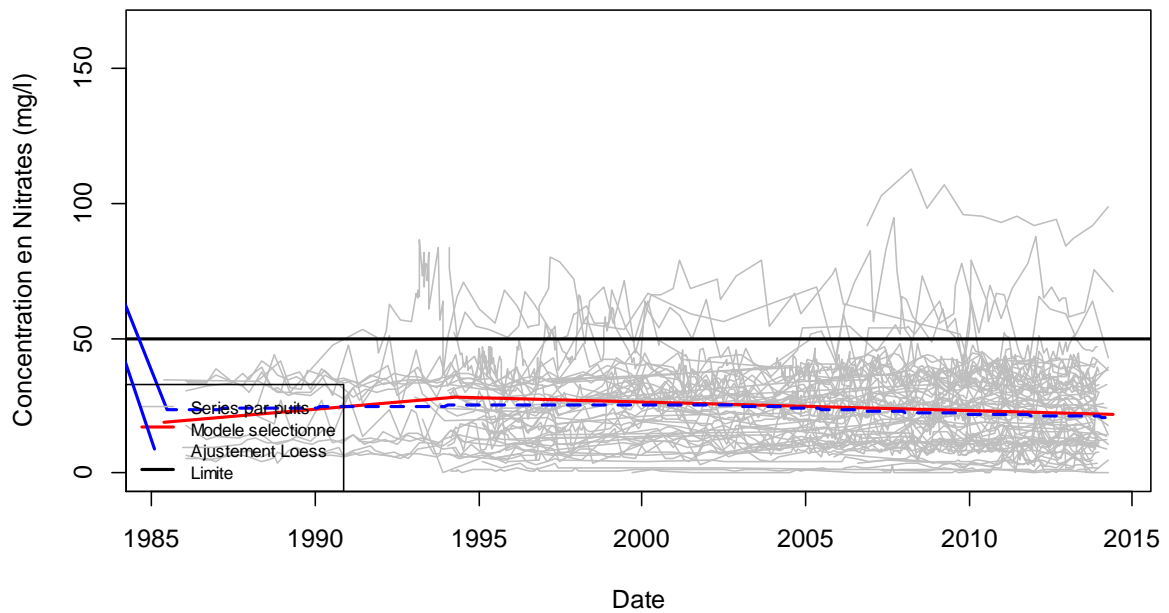
Cartographie des tendances



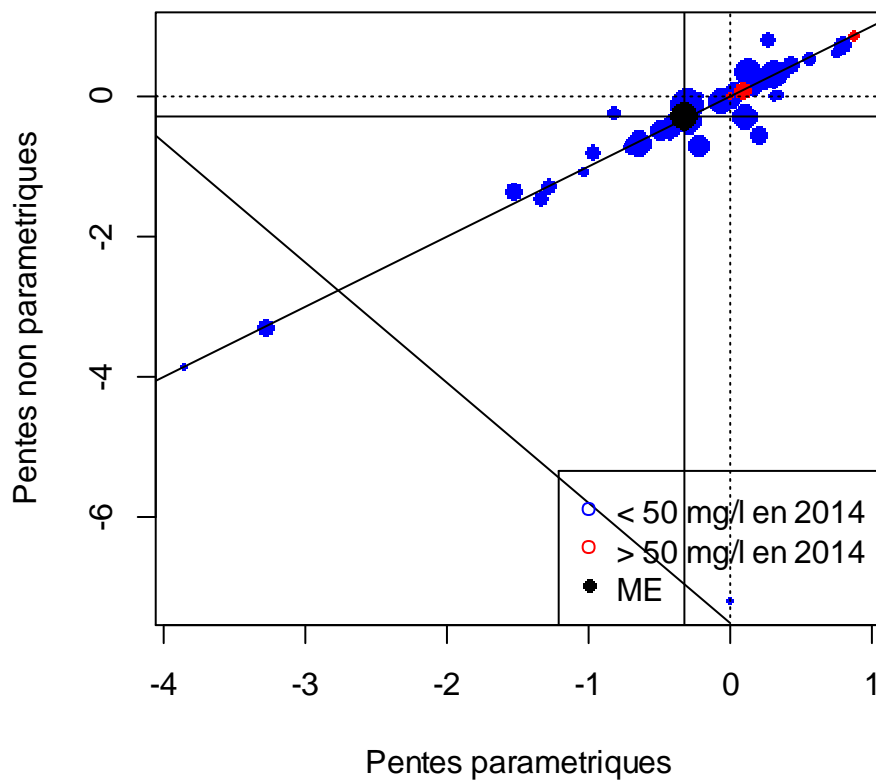
Nom de la masse d'eau : Calcaires et Grès de la Calestienne et de la Famenne

Code : M023

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Craies du bassin du Geer

Code : M040

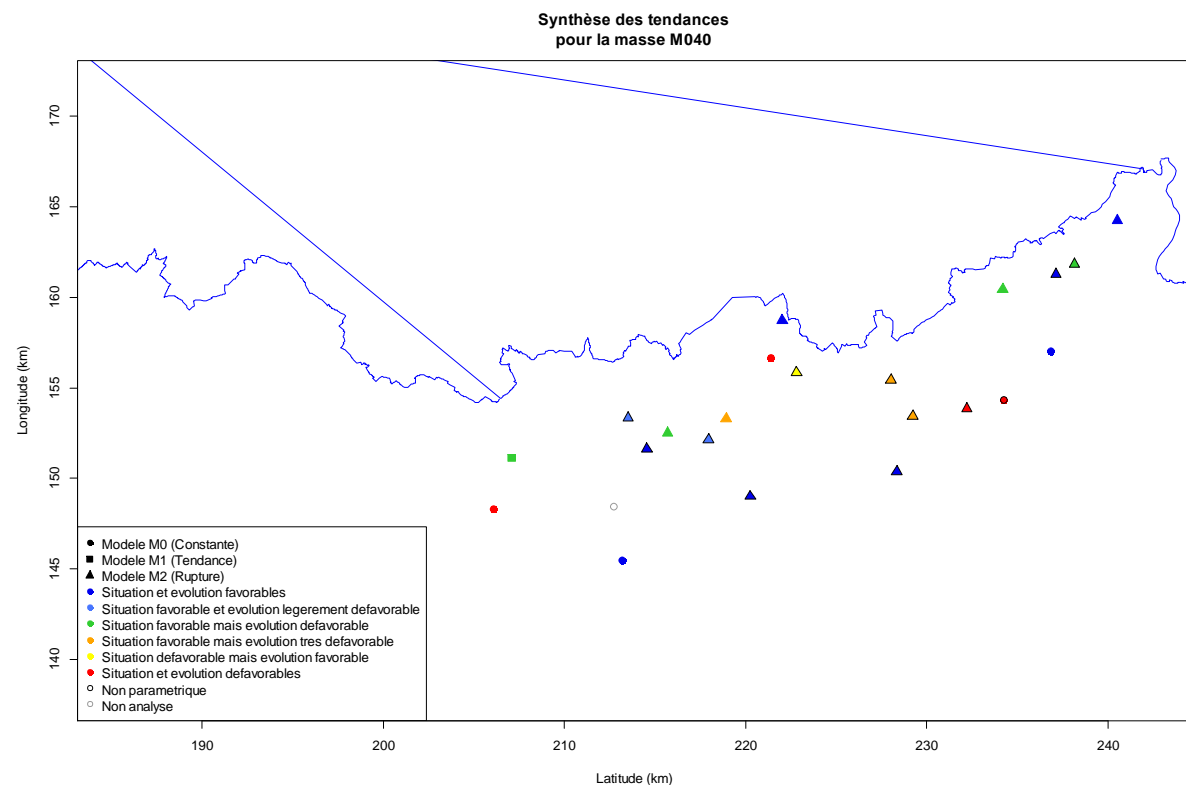
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		23	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		22	
Tendance non-significative		8	
Tendance significative		14	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	5	P	10	< 50 mg/l/an	17
M1	1	NP	12	≥ 50 mg/l/an	5
M2	16				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	4
Situation défavorable mais évolution favorable	1
Situation favorable mais évolution très défavorable	3
Situation favorable mais évolution défavorable	4
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	2
Situation et évolution favorables	8

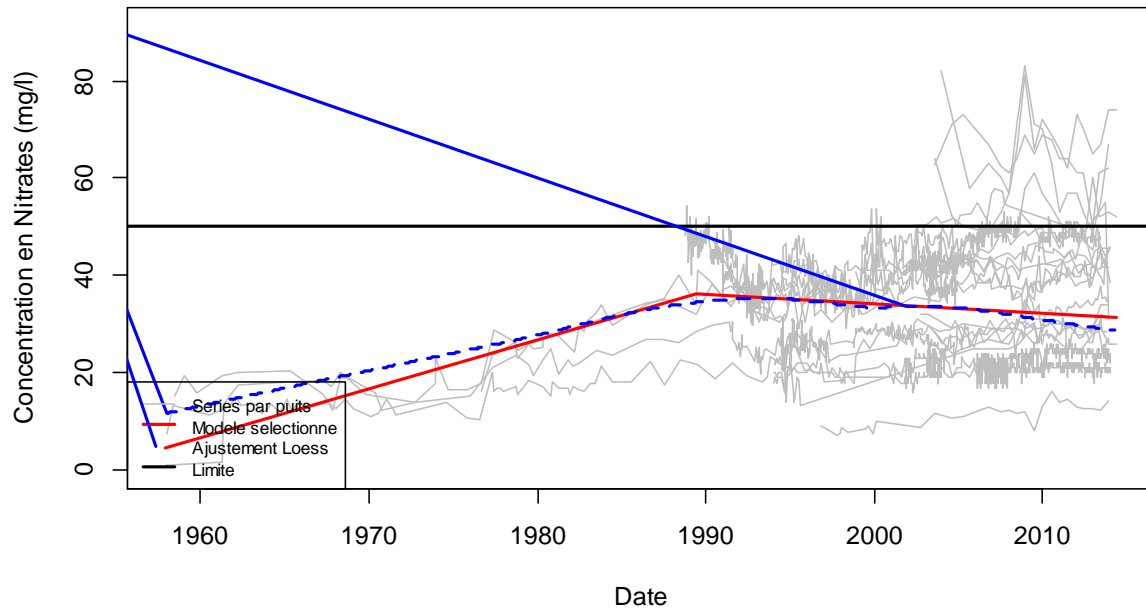
Cartographie des tendances



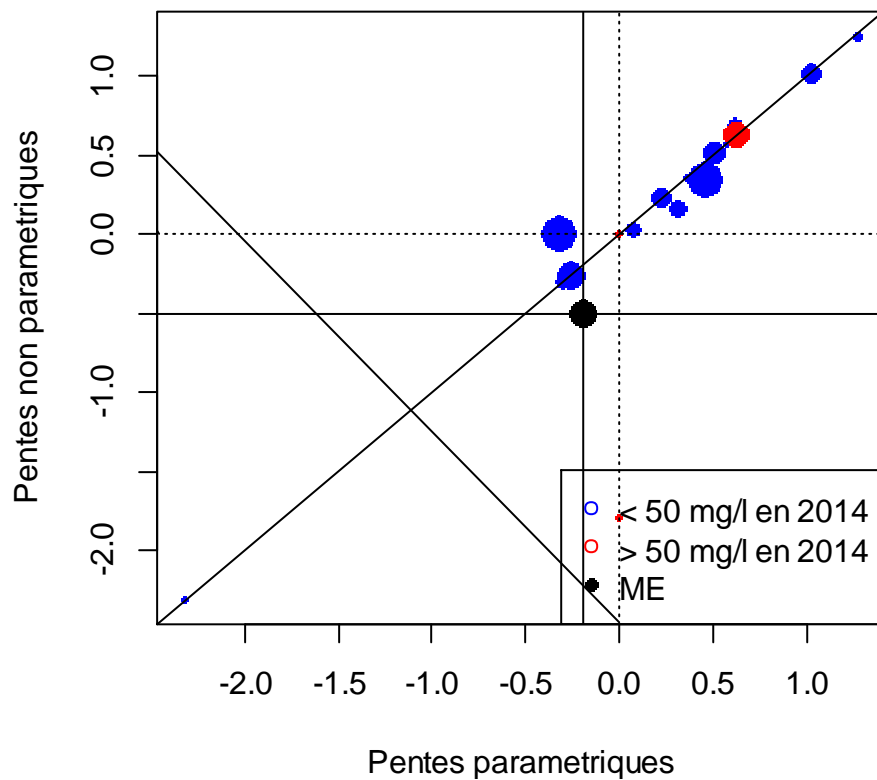
Nom de la masse d'eau : Craies du bassin du Geer

Code : M040

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables et Craies de la Mehaigne

Code : M041

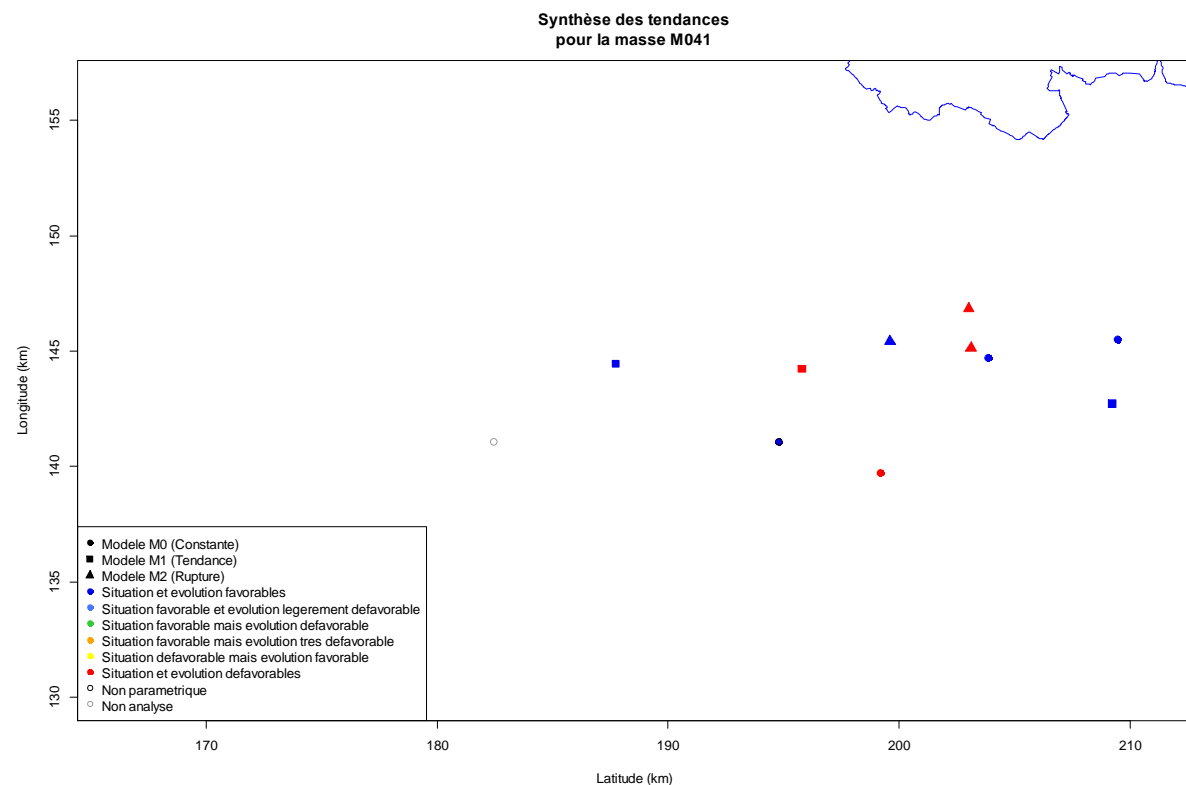
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		11	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		10	
Tendance non-significative		5	
Tendance significative		5	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	4	P	9	< 50 mg/l/an	6
M1	3	NP	1	≥ 50 mg/l/an	4
M2	3				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	4
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	6

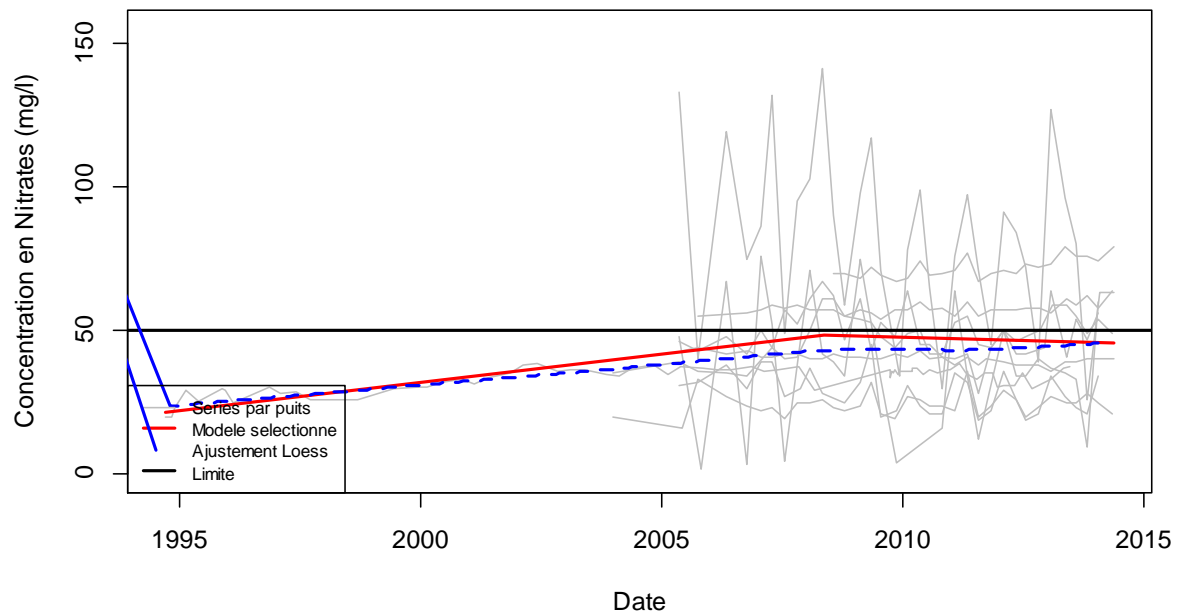
Cartographie des tendances



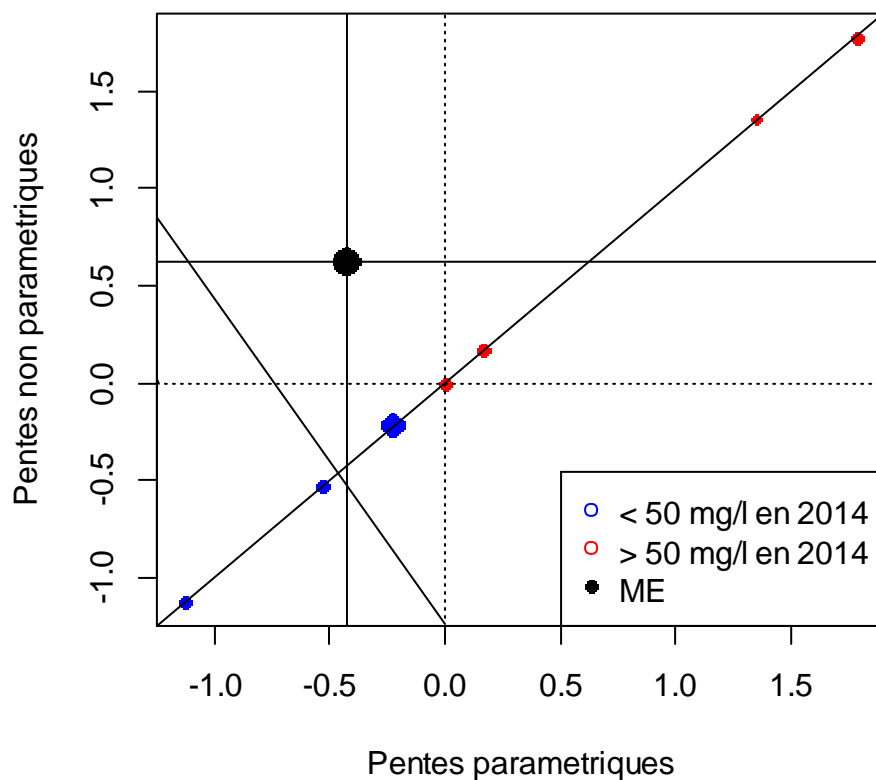
Nom de la masse d'eau : Sables et Craies de la Mehaigne

Code : M041

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Sables Bruxelliens de Haine et Sambre

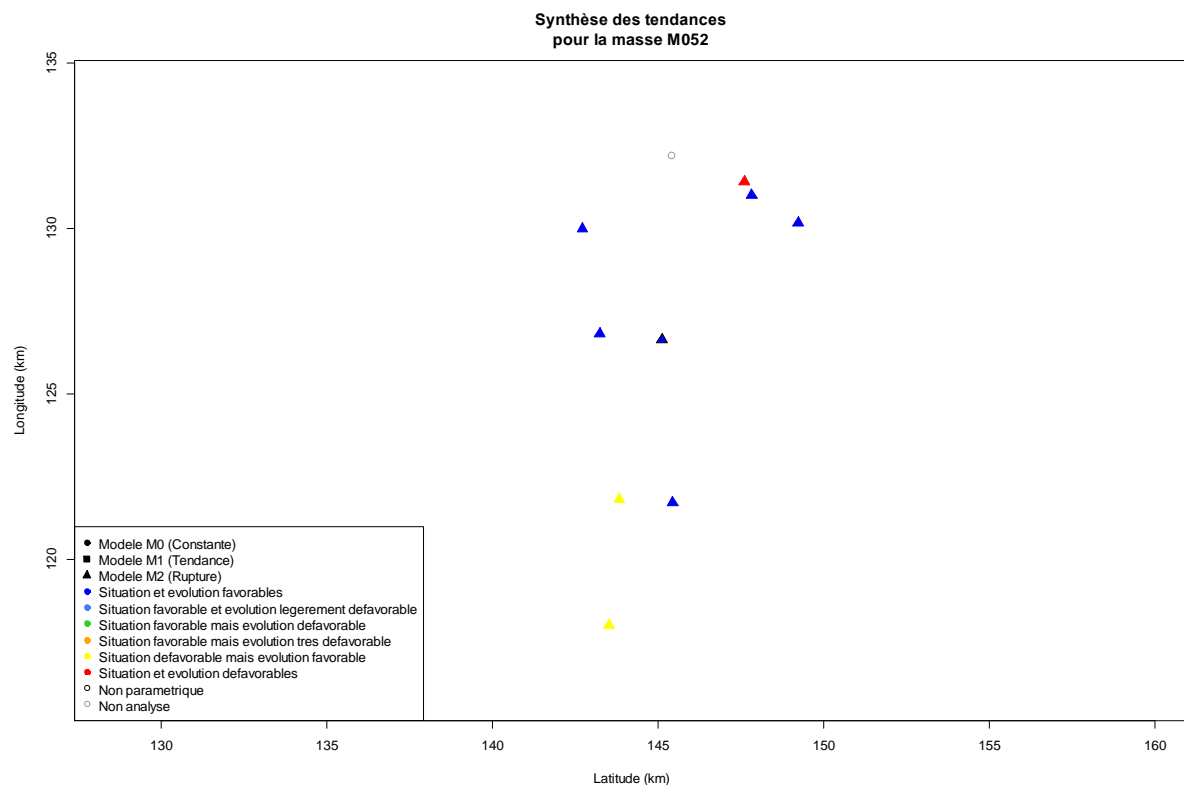
Code : M052

Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	10
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	9
Tendance non-significative	1
Tendance significative	8

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	0	P	8	< 50 mg/l/an	6
M1	0	NP	1	≥ 50 mg/l/an	3
M2	9				

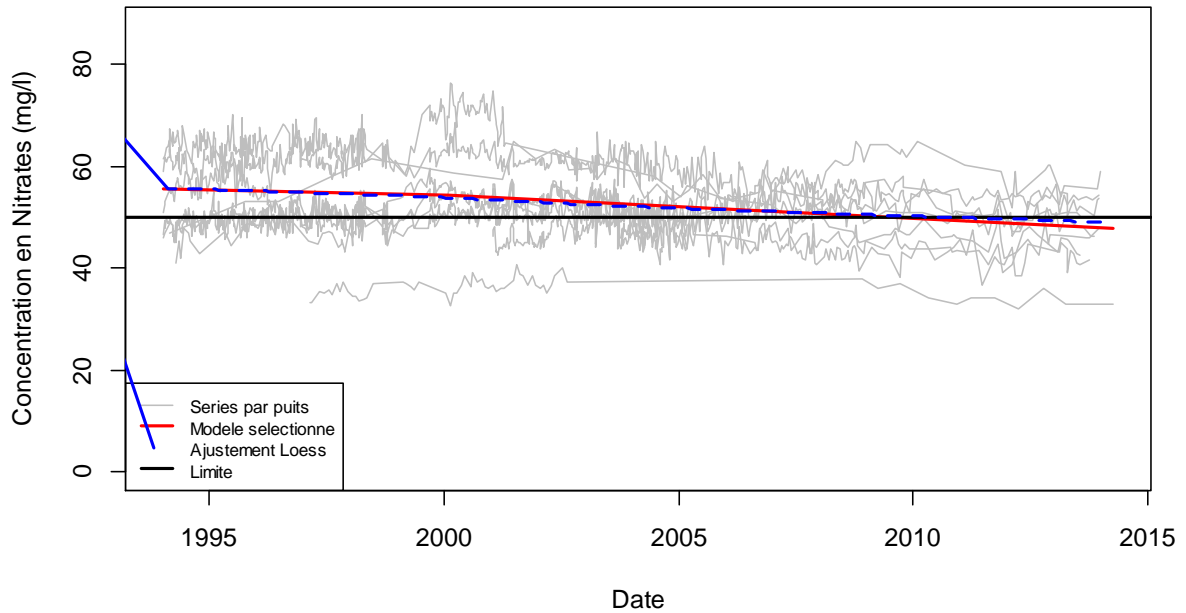
Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	1
Situation défavorable mais évolution favorable	2
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	6

Cartographie des tendances

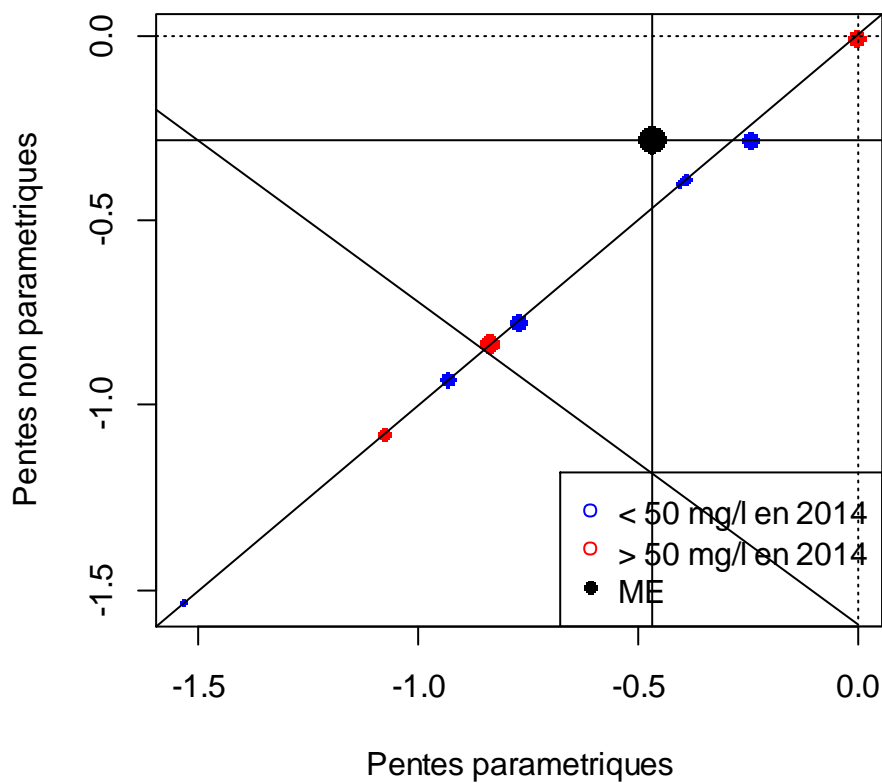
Nom de la masse d'eau : Sables Bruxelliens de Haine et Sambre

Code : M052

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (amont de Namur)

Code : M071

Tableau de synthèse

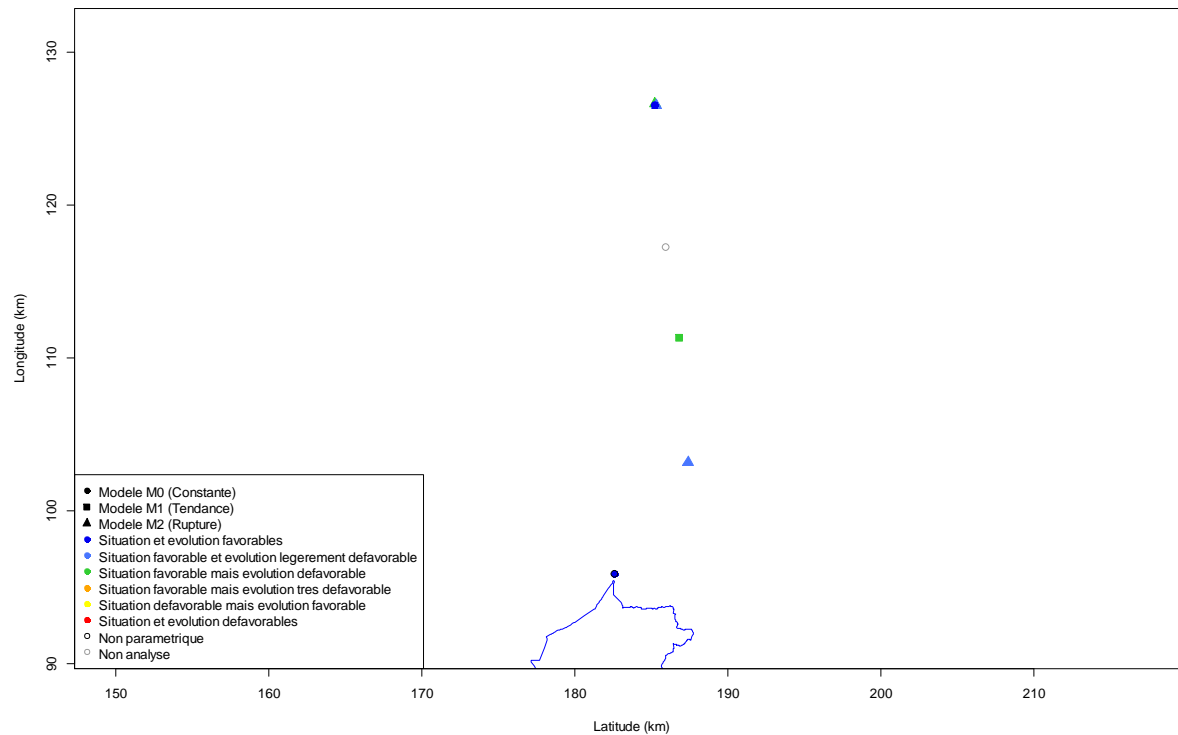
	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	7
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	6
Tendance non-significative	2
Tendance significative	4

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	2	P	5	< 50 mg/l/an	6
M1	1	NP	1	≥ 50 mg/l/an	0
M2	3				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	2
Situation et évolution favorables	2

Cartographie des tendances

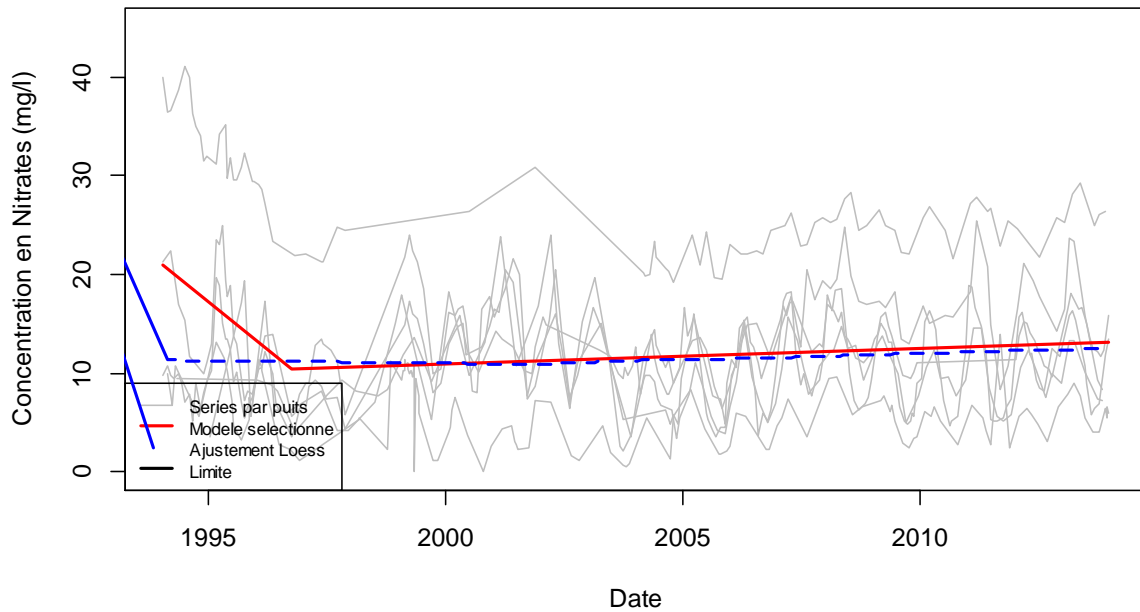
Synthèse des tendances pour la masse M071



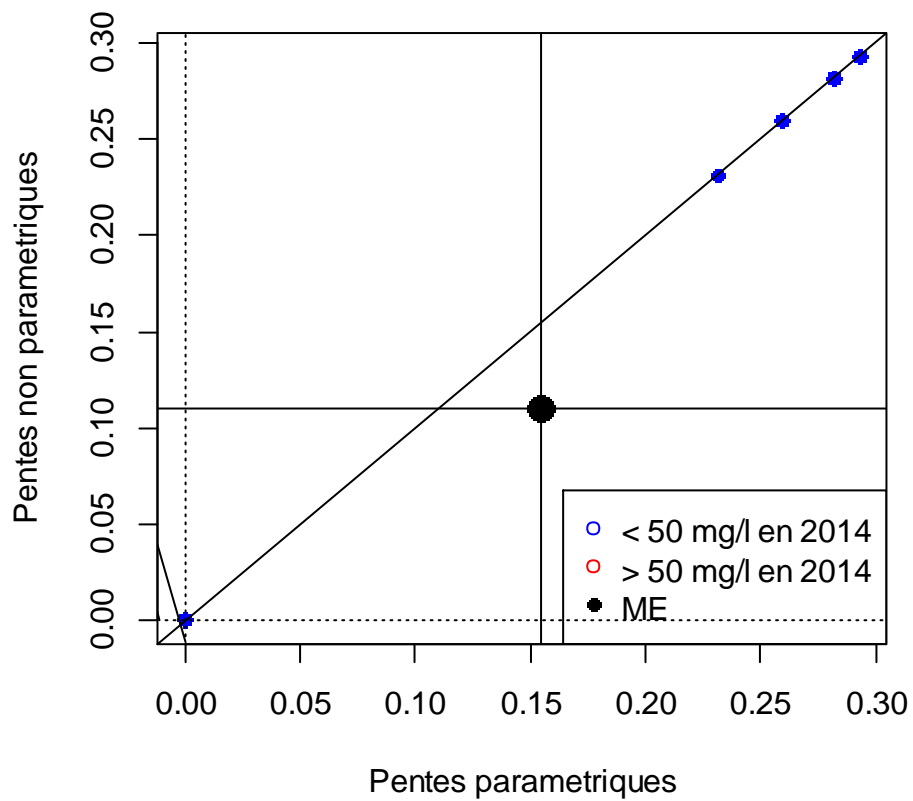
Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (amont de Namur)

Code : M071

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (Namur - Lanaye)

Code : M072

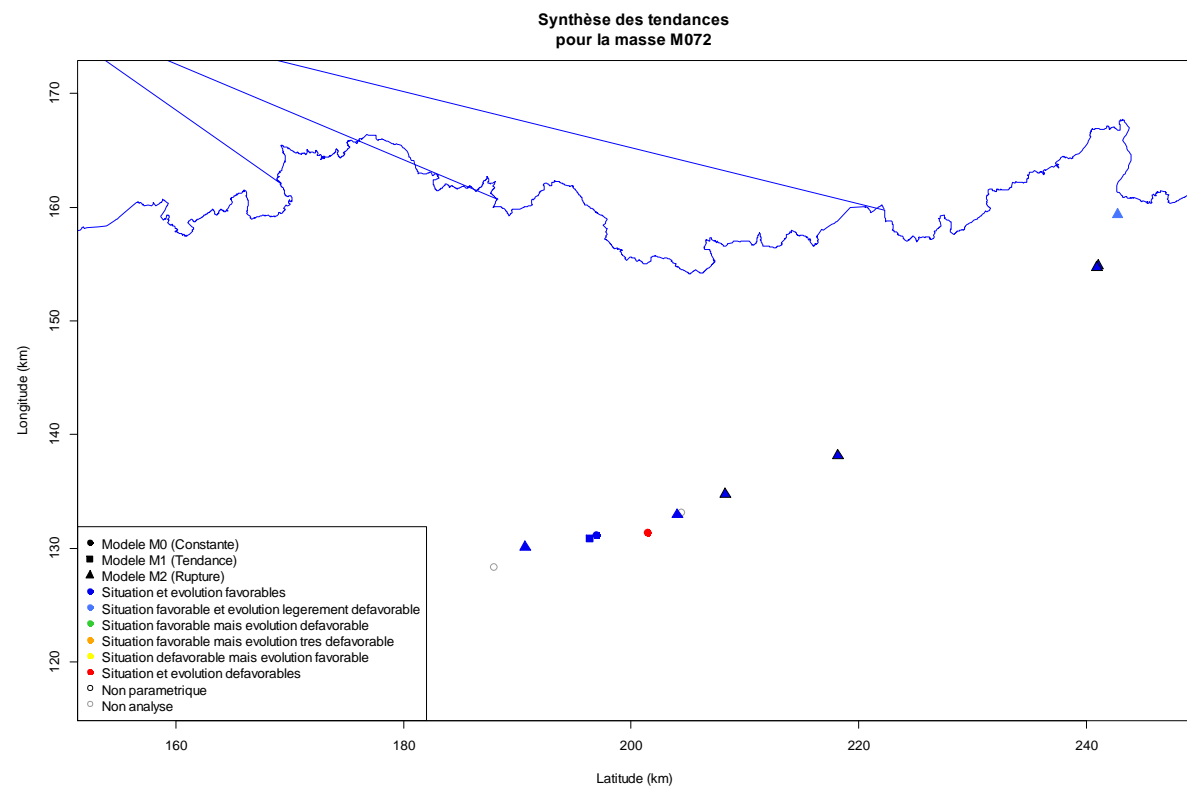
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		12	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		10	
Tendance non-significative		6	
Tendance significative		4	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	2	P	6	< 50 mg/l/an	9
M1	1	NP	4	≥ 50 mg/l/an	1
M2	7				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	1
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	8

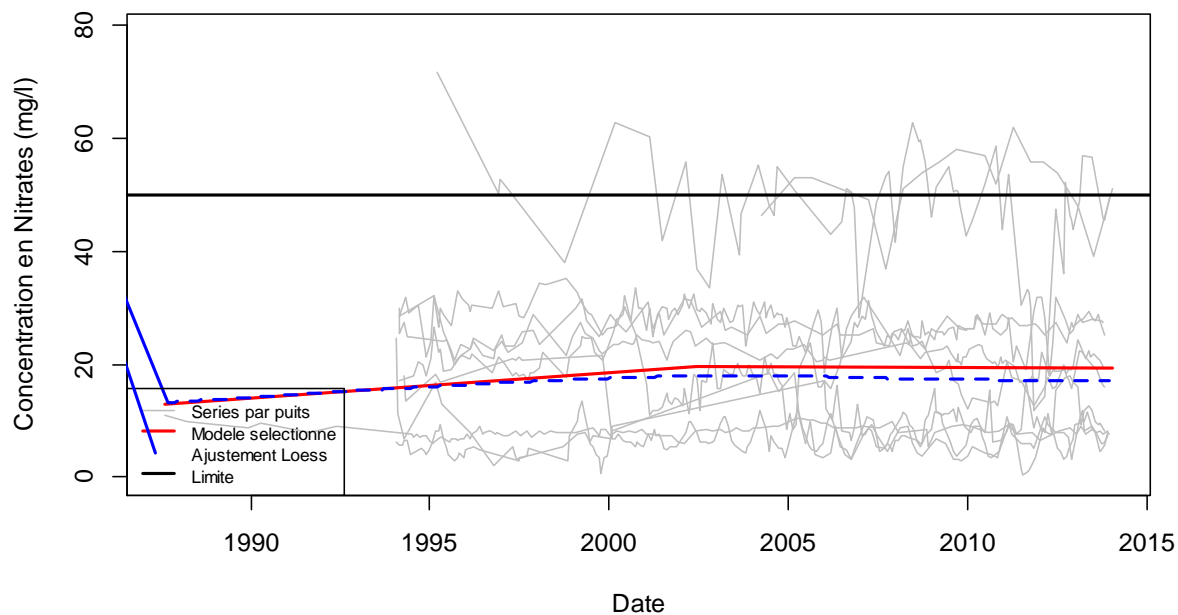
Cartographie des tendances



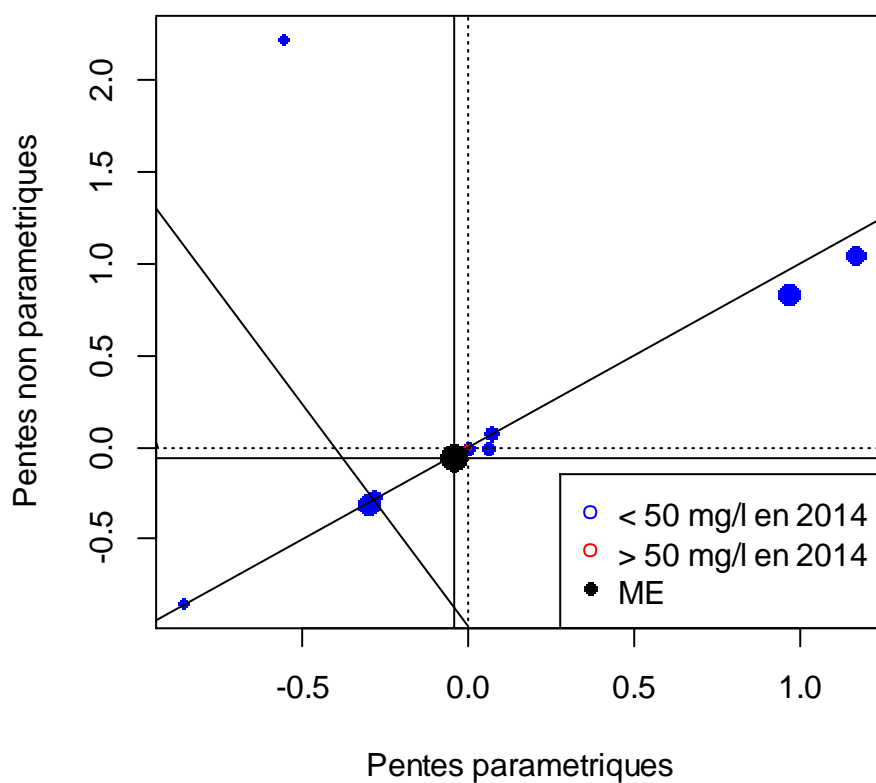
Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (Namur - Lanaye)

Code : M072

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (Engis - Herstal)

Code : M073

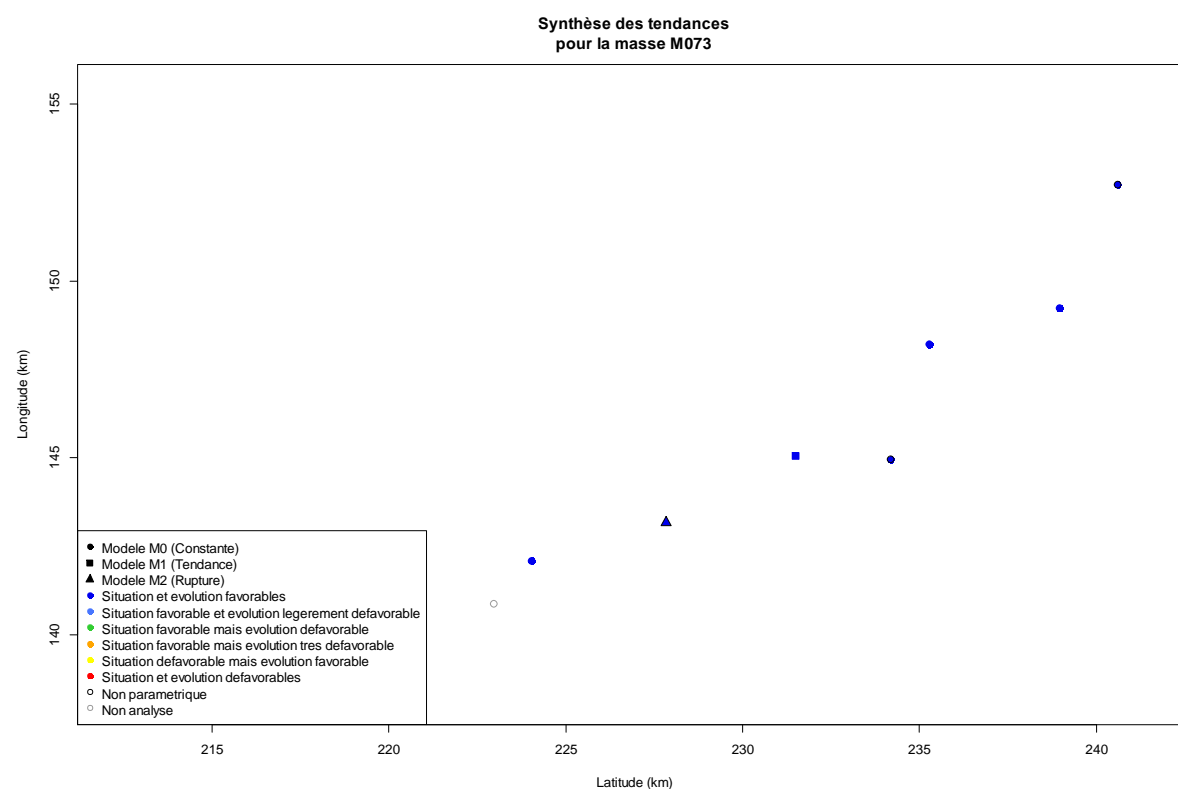
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	8
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	7
Tendance non-significative	6
Tendance significative	1

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	5	P	4	< 50 mg/l/an	7
M1	1	NP	3	≥ 50 mg/l/an	0
M2	1				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	7

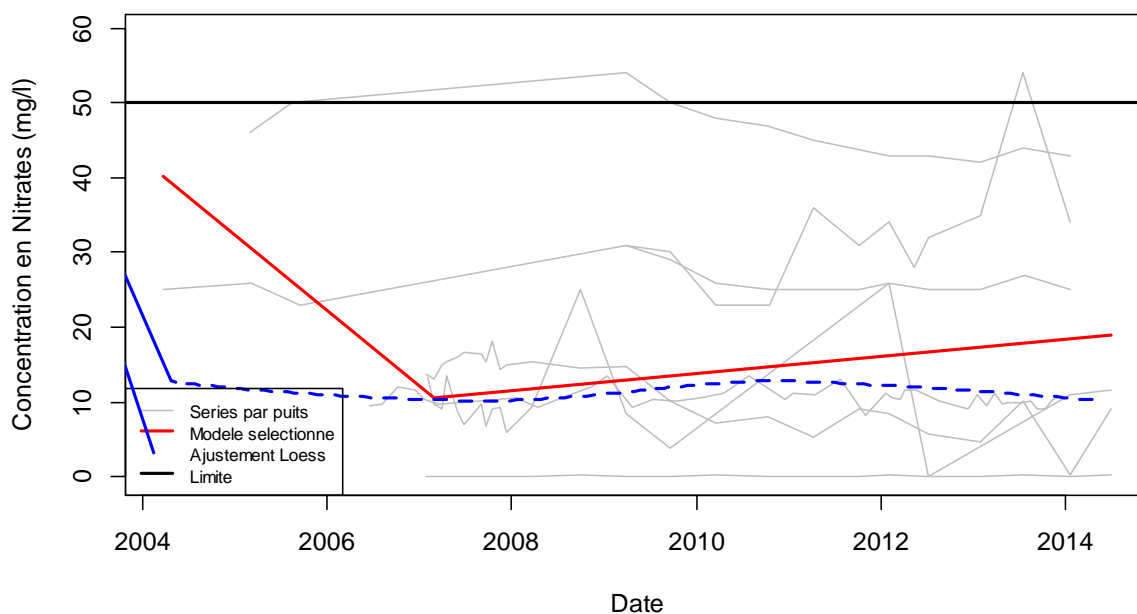
Cartographie des tendances



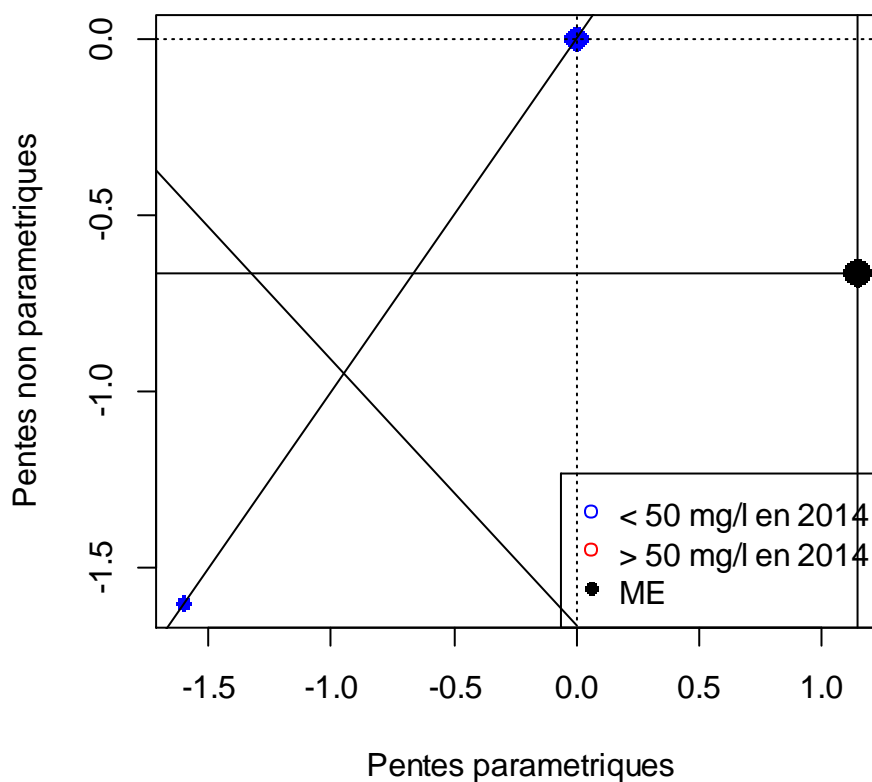
Nom de la masse d'eau : Alluvions et Gravier de la Meuse (Engis - Herstal)

Code : M073

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Conglomérats du Rhétien (Trias supérieur)

Code : M091

Tableau de synthèse

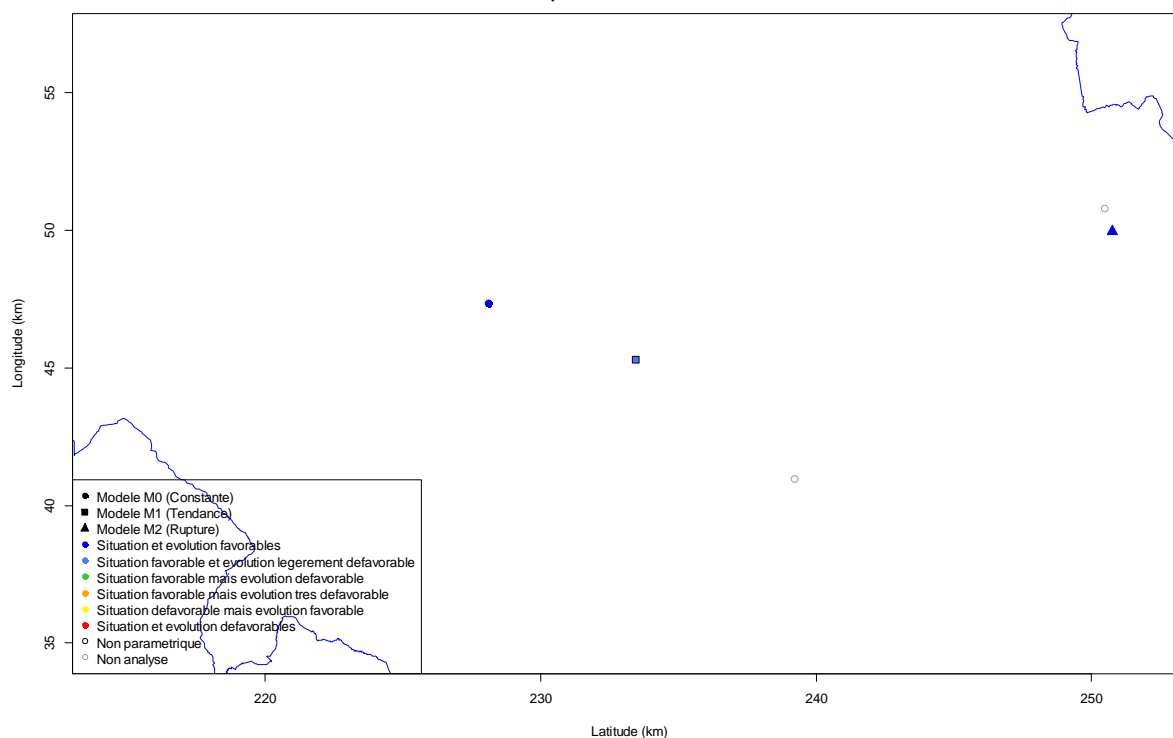
	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	5
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	3
Tendance non-significative	1
Tendance significative	2

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	1	P	2	< 50 mg/l/an	3
M1	1	NP	1	≥ 50 mg/l/an	0
M2	1				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	2

Cartographie des tendances

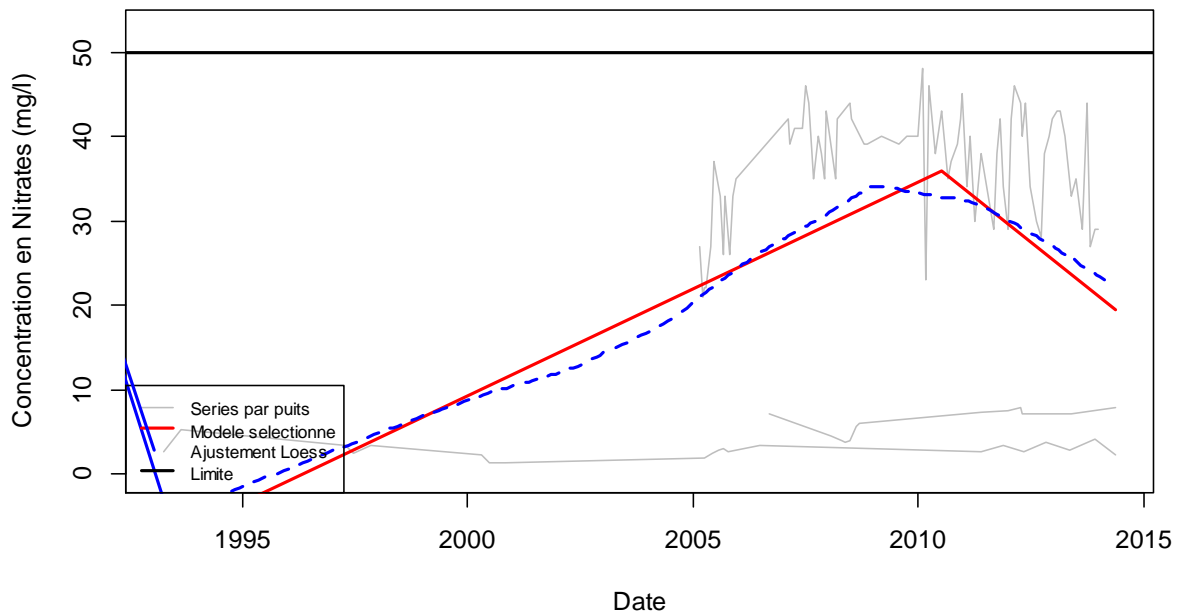
Synthèse des tendances pour la masse M091



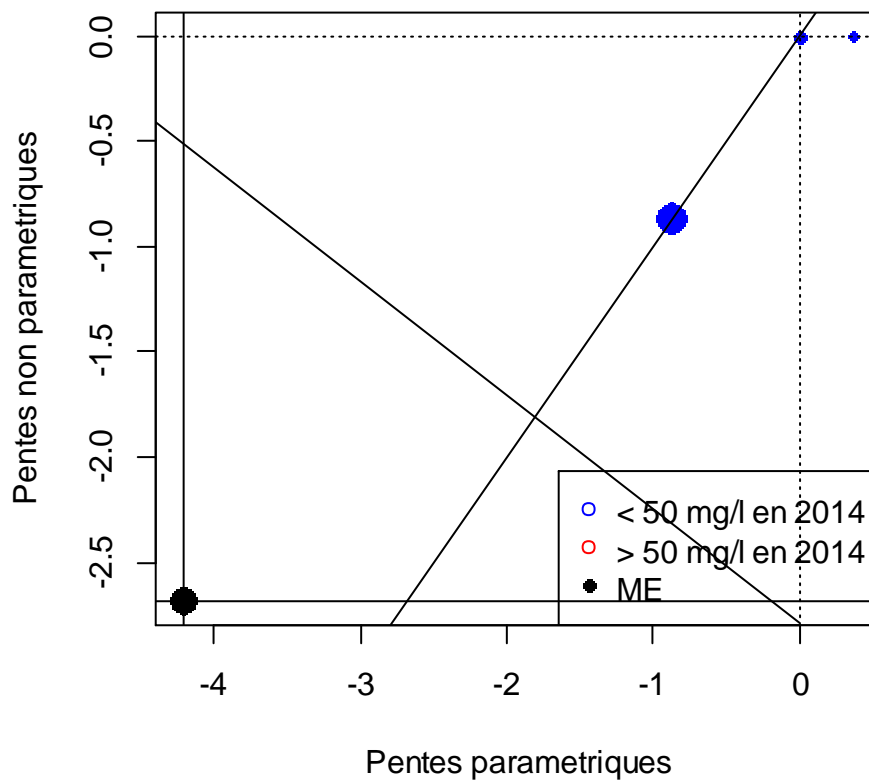
Nom de la masse d'eau : Conglomérats du Rhétien (Trias supérieur)

Code : M091

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Lias inférieur (Sinémurien)

Code : M092

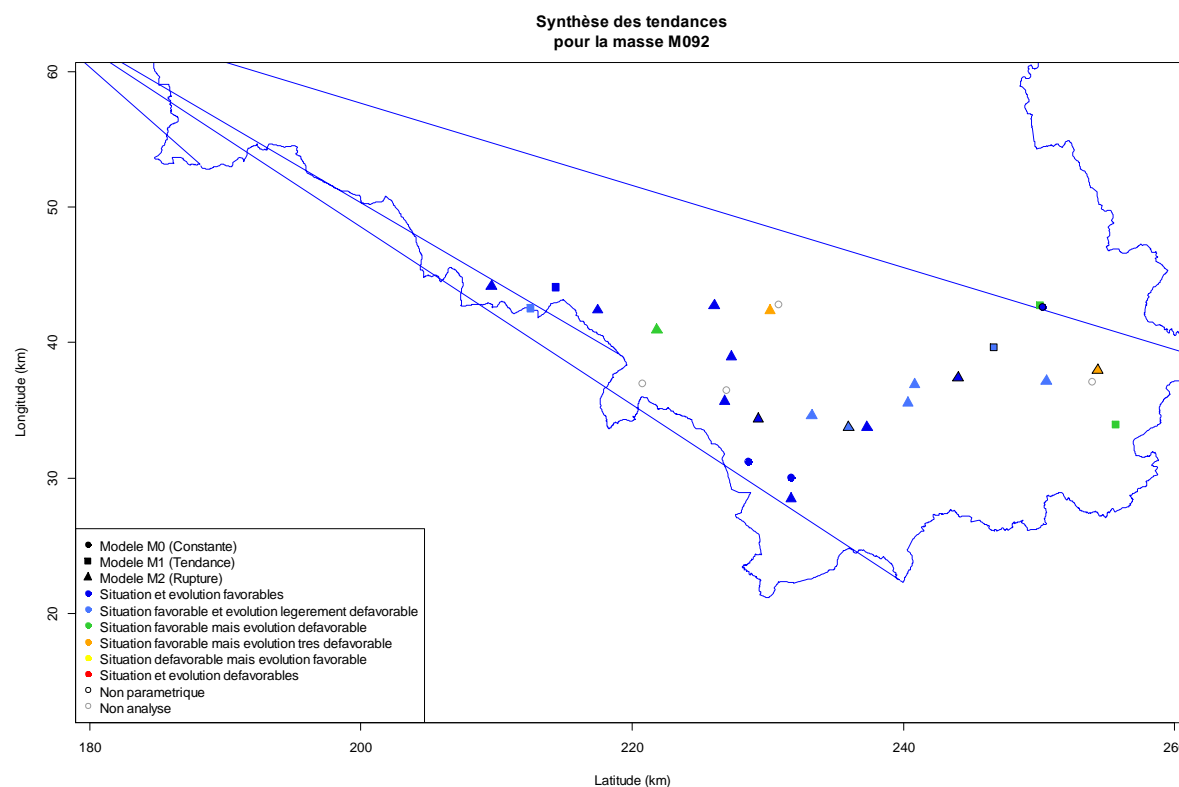
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	29
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	25
Tendance non-significative	3
Tendance significative	22

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	3	P	19	< 50 mg/l/an	25
M1	5	NP	6	≥ 50 mg/l/an	0
M2	17				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	2
Situation favorable mais évolution défavorable	3
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	7
Situation et évolution favorables	13

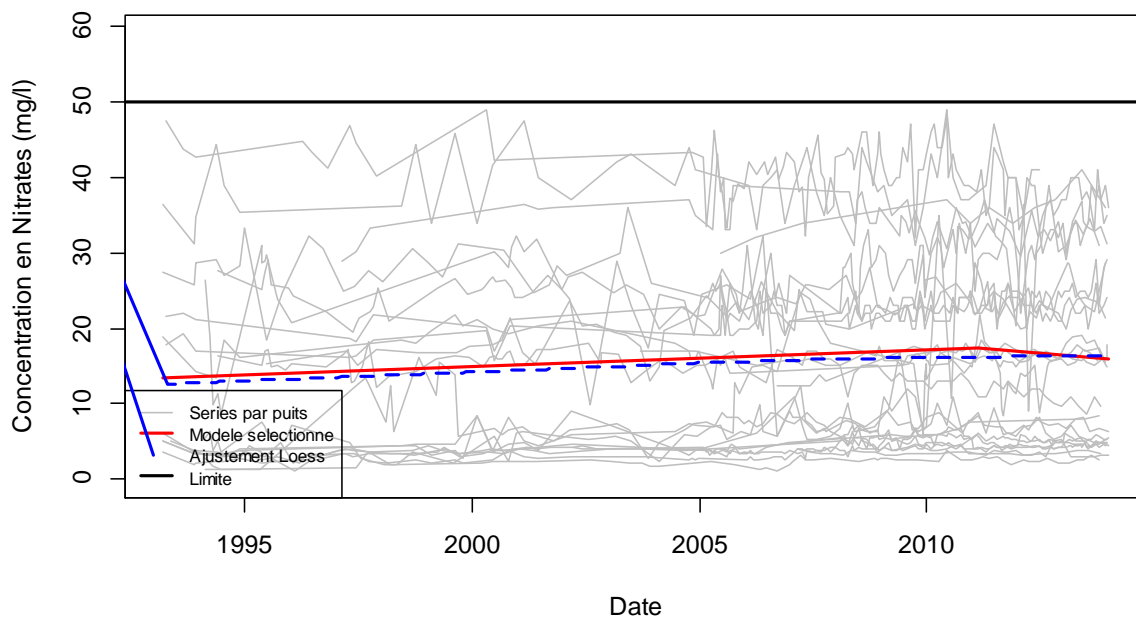
Cartographie des tendances



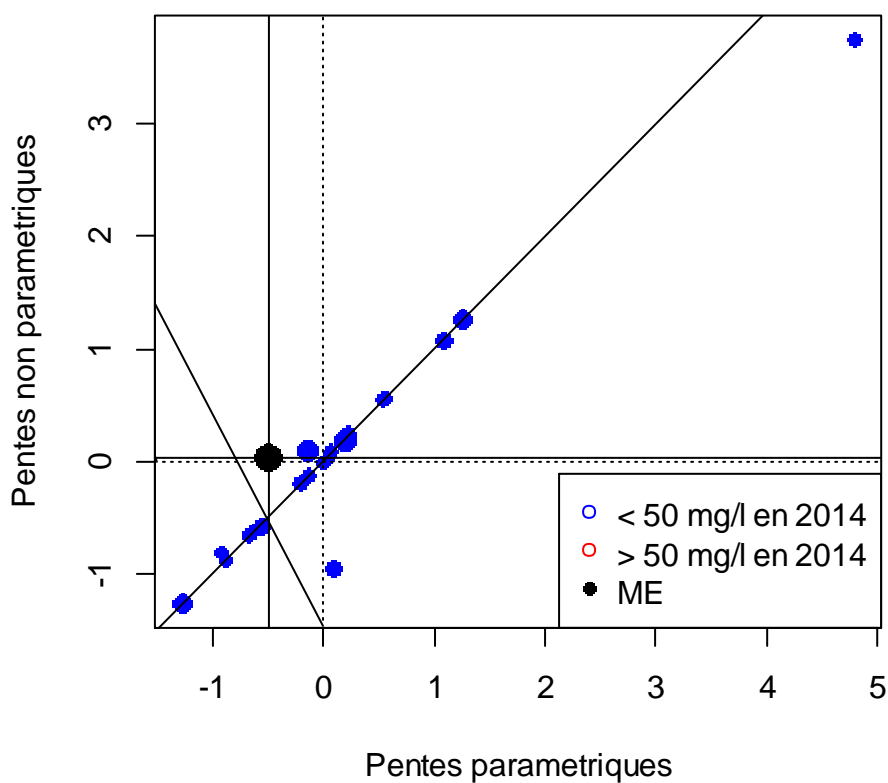
Nom de la masse d'eau : Lias inférieur (Sinémurien)

Code : M092

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Lias supérieur (Domérien)

Code : M093

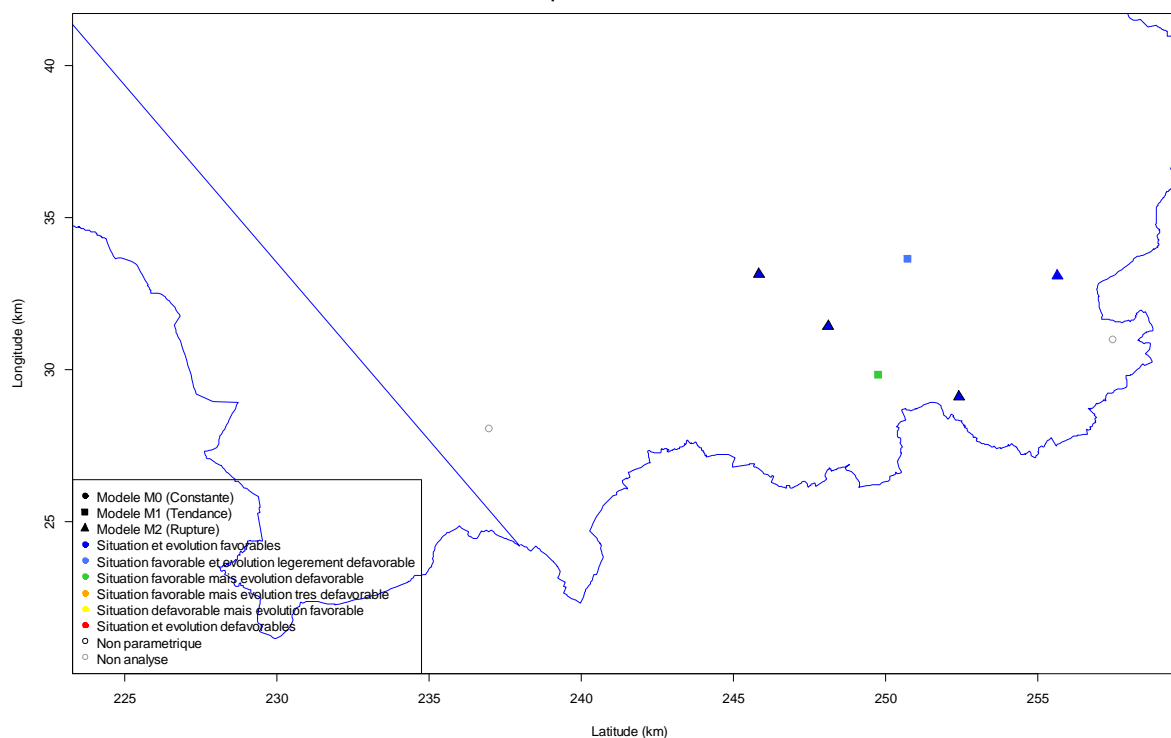
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	8
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	6
Tendance non-significative	1
Tendance significative	5

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	0	P	3	< 50 mg/l/an	6
M1	2	NP	3	≥ 50 mg/l/an	0
M2	4				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	4

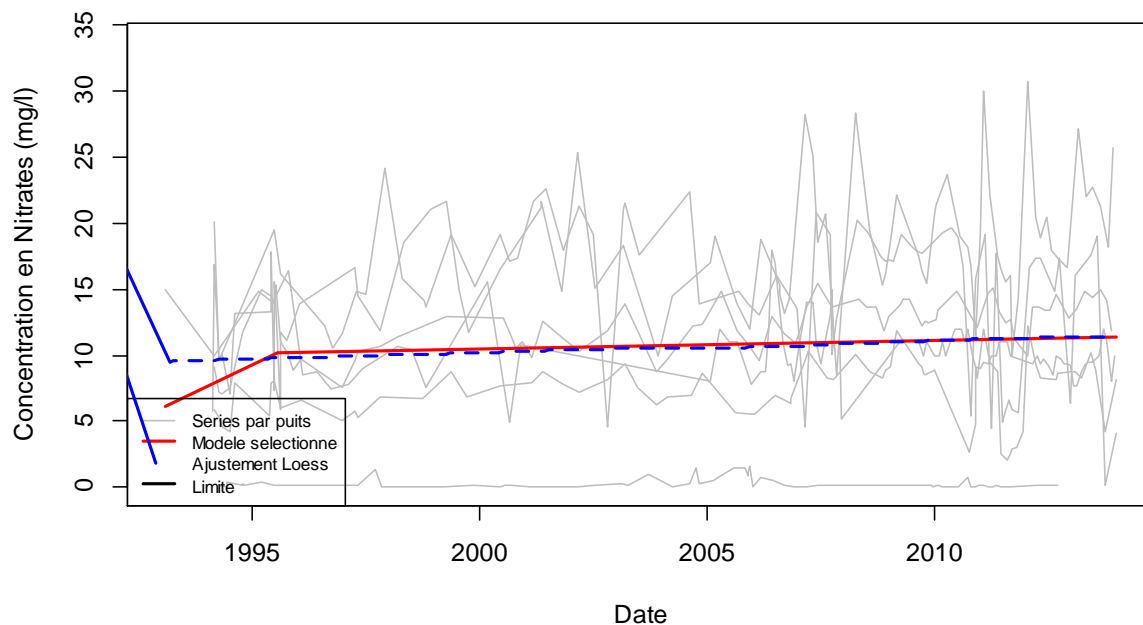
Cartographie des tendances

Synthèse des tendances
pour la masse M093

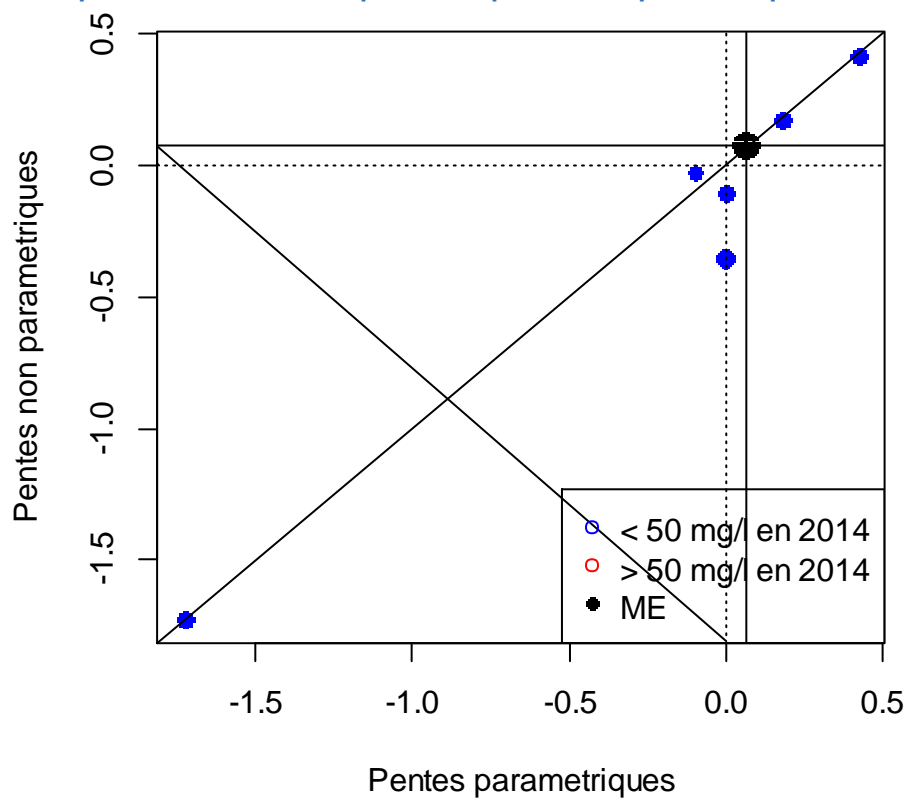
Nom de la masse d'eau : Lias supérieur (Domérien)

Code : M093

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires du Bajocien-Bathonien (Dogger)

Code : M094

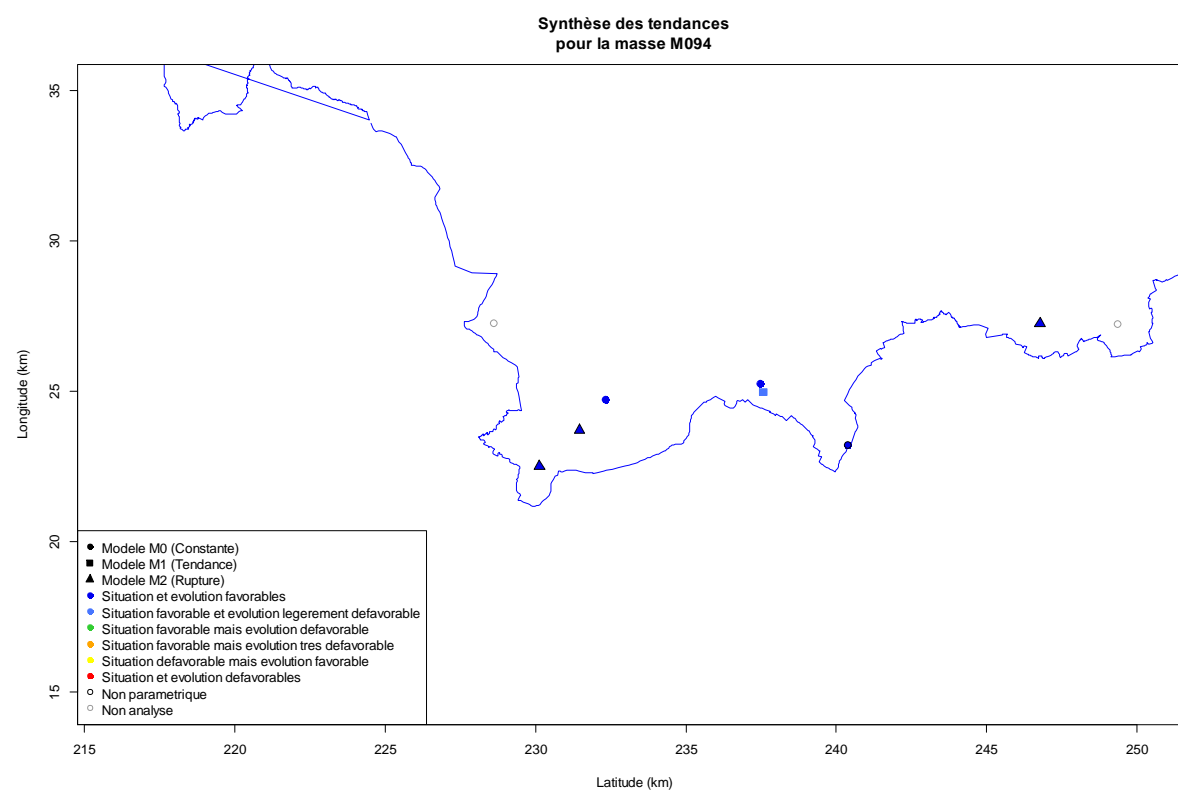
Tableau de synthèse

		Nombre	
Séries disponibles dans la masse d'eau		9	
Séries ayant fait l'objet de l'analyse		7	
Tendance non-significative		6	
Tendance significative		1	

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	3	P	3	< 50 mg/l/an	7
M1	1	NP	4	≥ 50 mg/l/an	0
M2	3				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	6

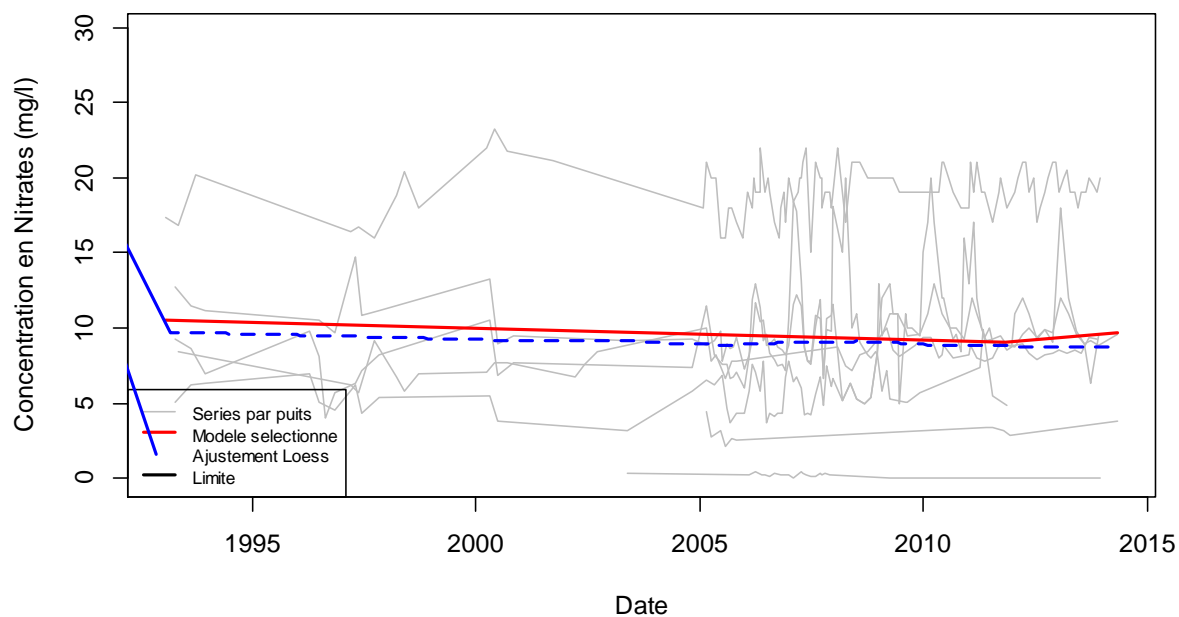
Cartographie des tendances



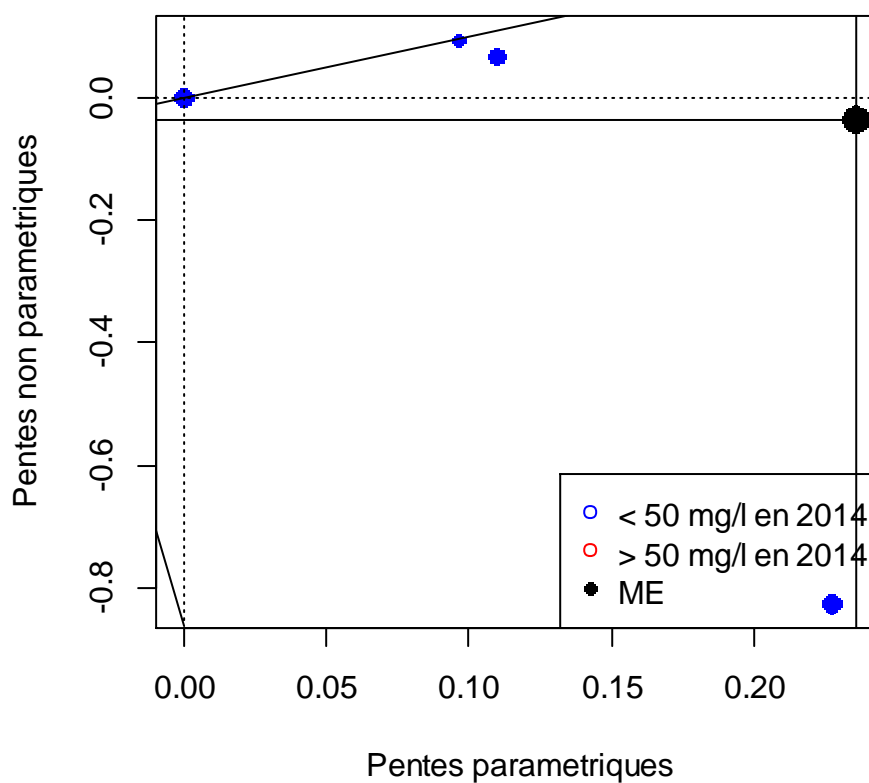
Nom de la masse d'eau : Calcaires du Bajocien-Bathonien (Dogger)

Code : M094

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Grès et schistes du massif ardennais: Lesse, Ourthe, Amblève

Code : M100

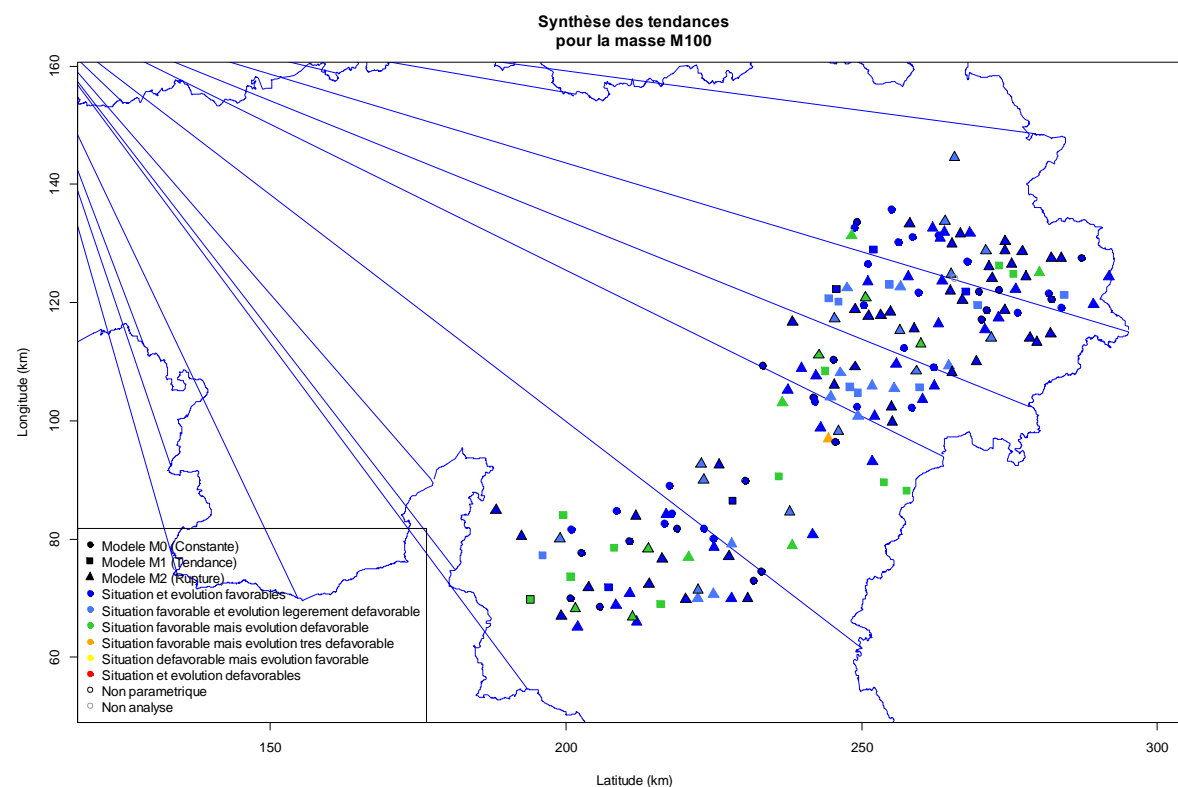
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	177
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	176
Tendance non-significative	70
Tendance significative	106

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	43	P	93	< 50 mg/l/an	176
M1	25	NP	83	≥ 50 mg/l/an	0
M2	108				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	22
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	34
Situation et évolution favorables	119

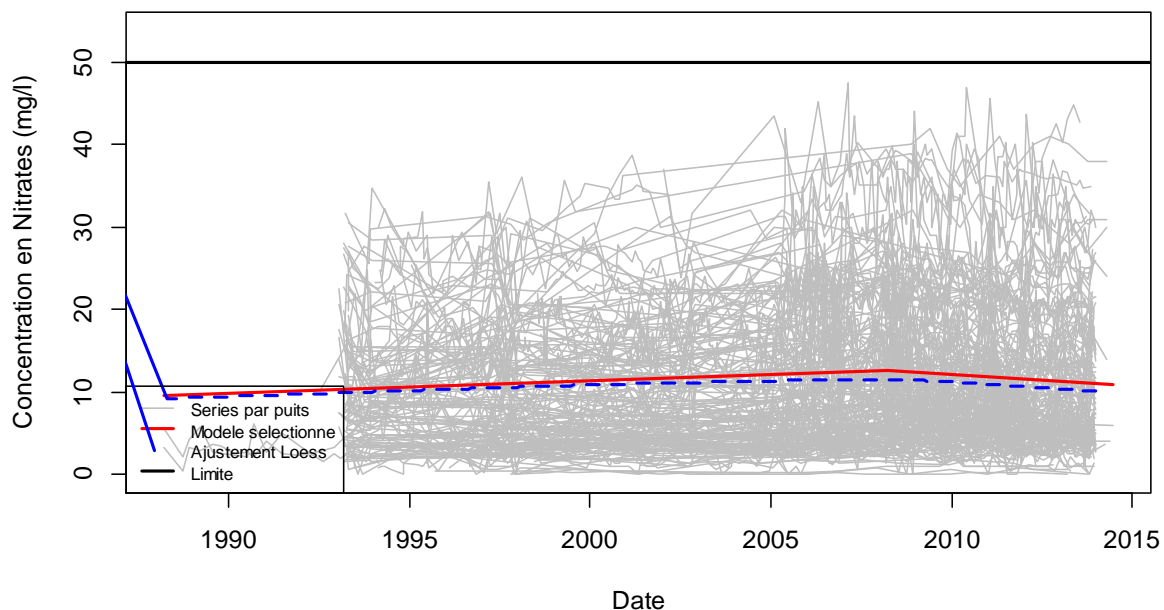
Cartographie des tendances



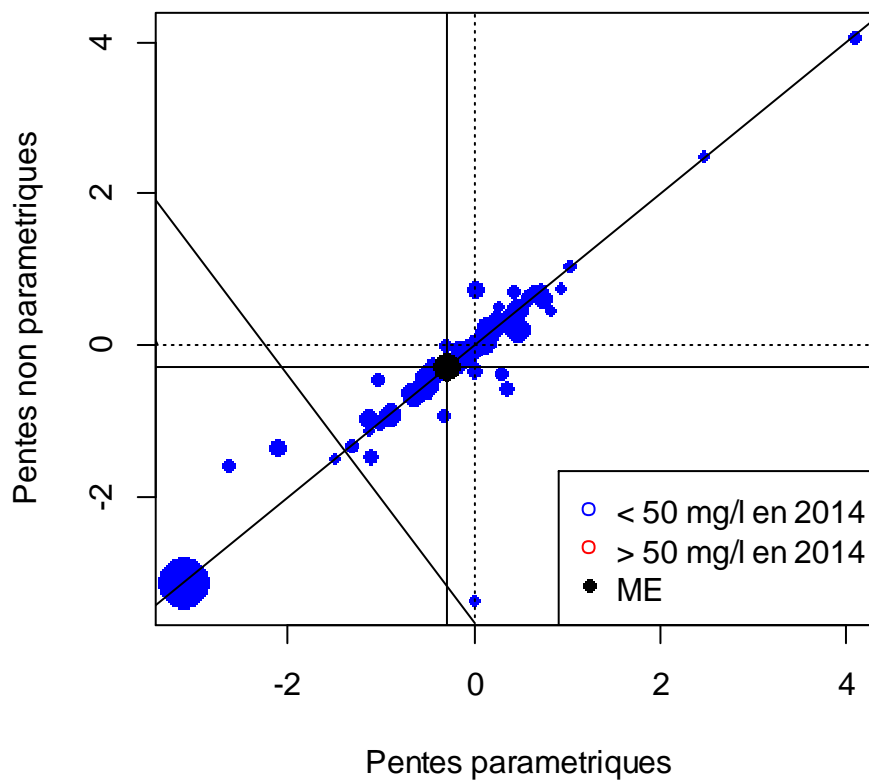
Nom de la masse d'eau : Grès et schistes du massif ardennais: Lesse, Ourthe, Amblève

Code : M100

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Grès et schistes du massif ardennais: bassin de la Roer

Code : M102

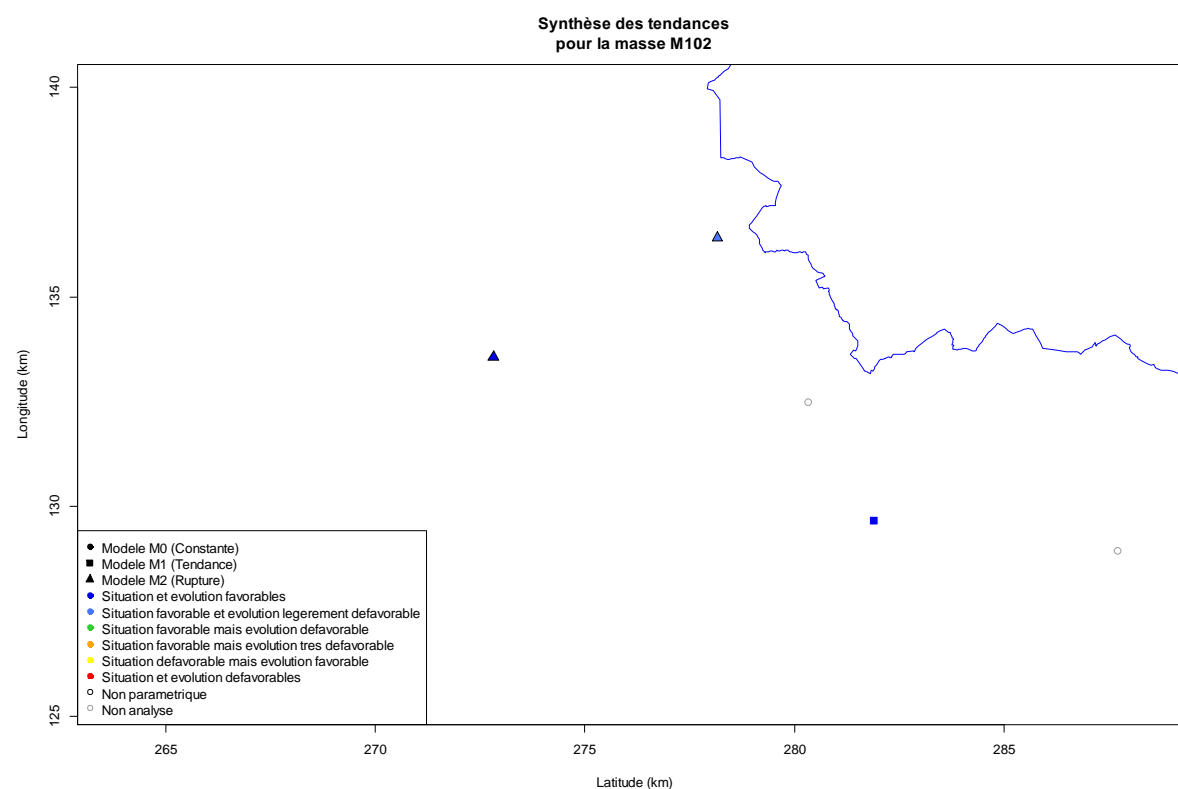
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	5
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	3
Tendance non-significative	0
Tendance significative	3

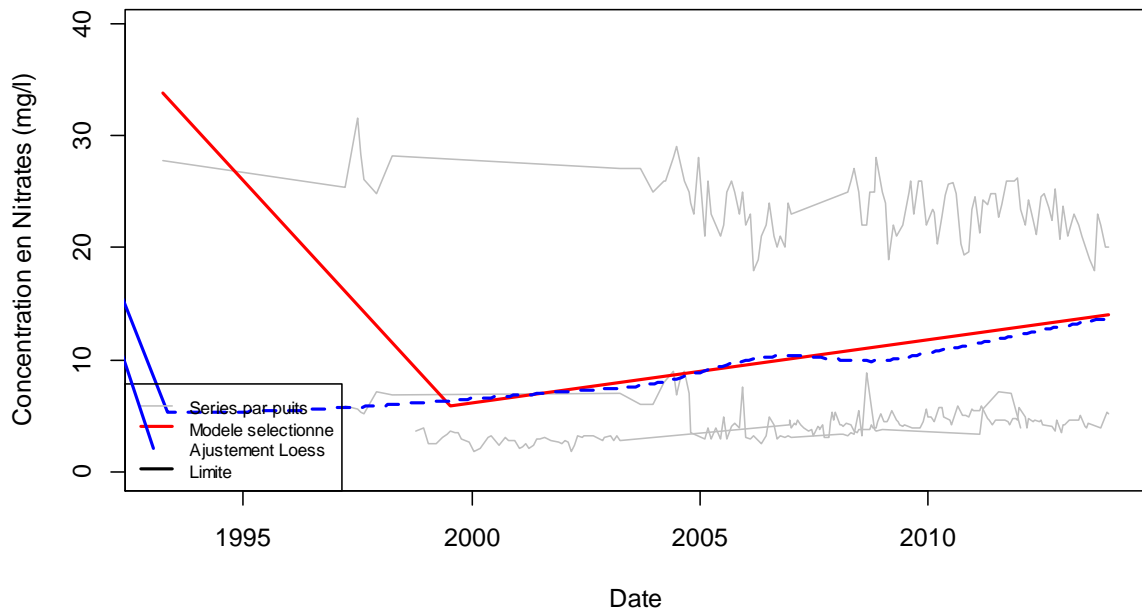
Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	0	P	1	< 50 mg/l/an	3
M1	1	NP	2	≥ 50 mg/l/an	0
M2	2				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	0
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	2

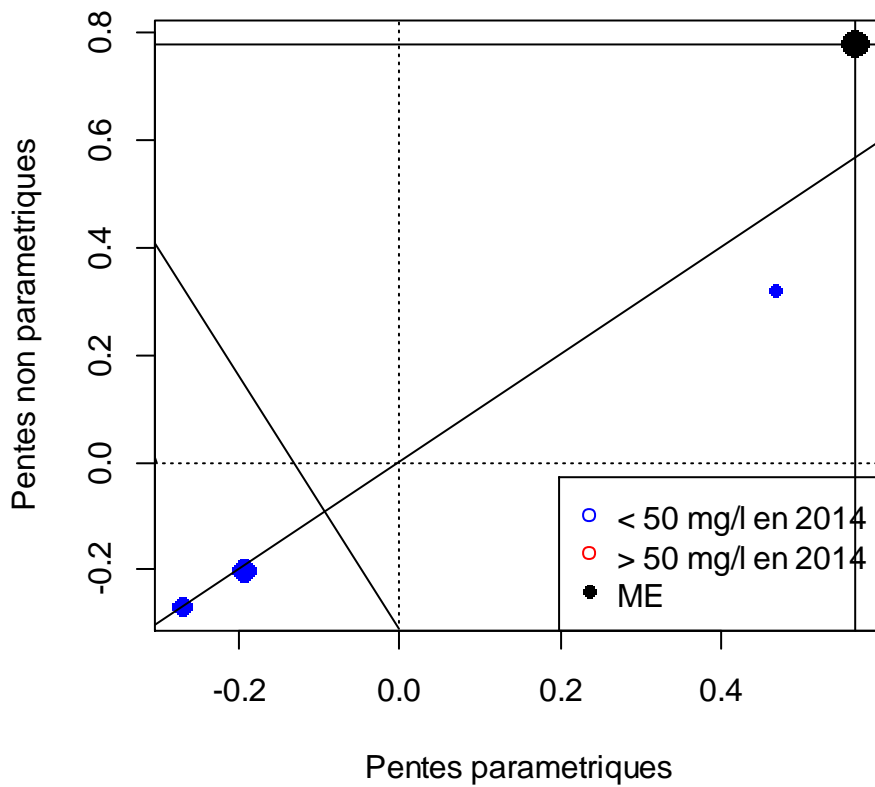
Cartographie des tendances



Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Grès et schistes du massif ardennais: Semois, Chiers et Viroin

Code : M103

Tableau de synthèse

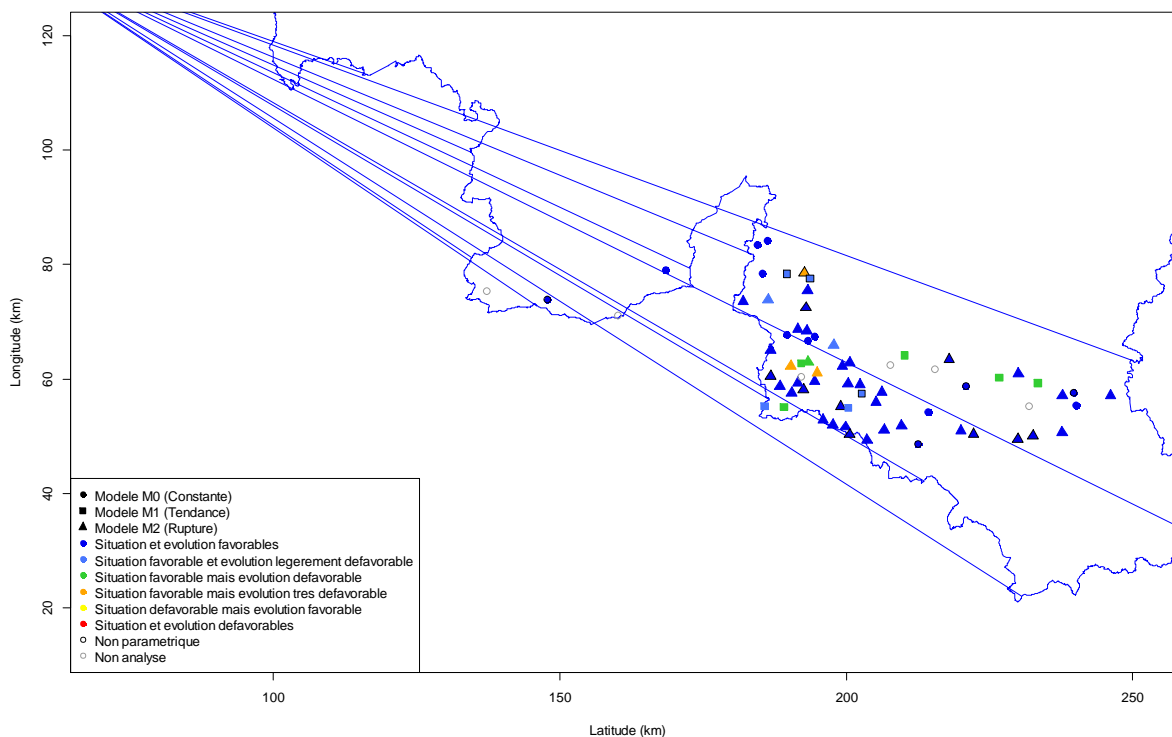
	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	70
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	64
Tendance non-significative	23
Tendance significative	41

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	3
Situation favorable mais évolution défavorable	6
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	7
Situation et évolution favorables	48

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	13	P	47	< 50 mg/l/an	64
M1	10	NP	17	≥ 50 mg/l/an	0
M2	41				

Cartographie des tendances

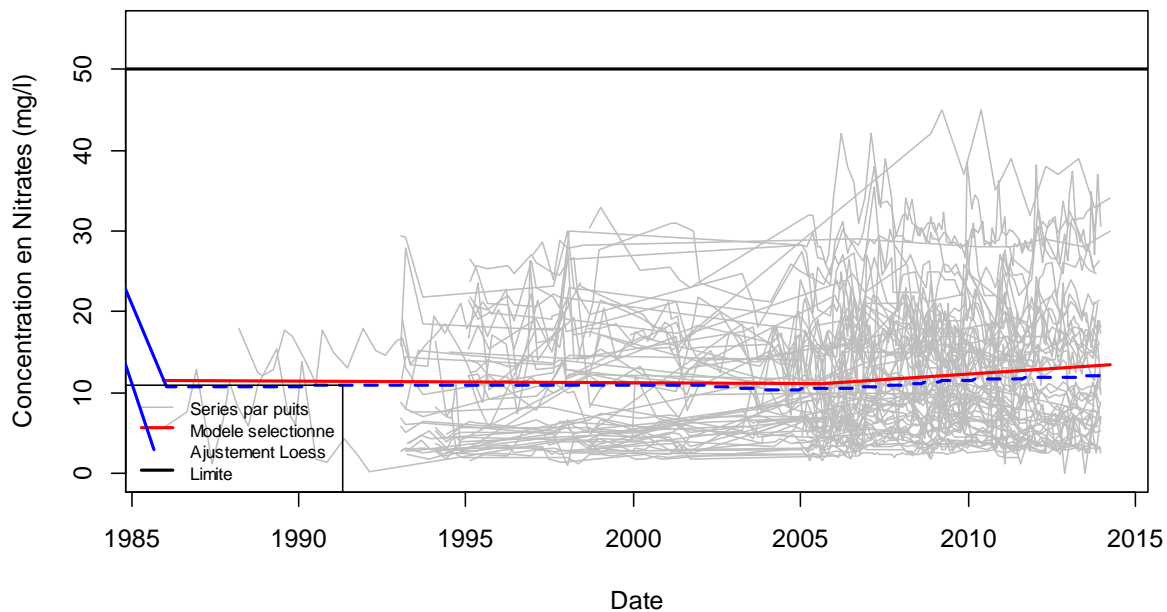
Synthèse des tendances pour la masse M103



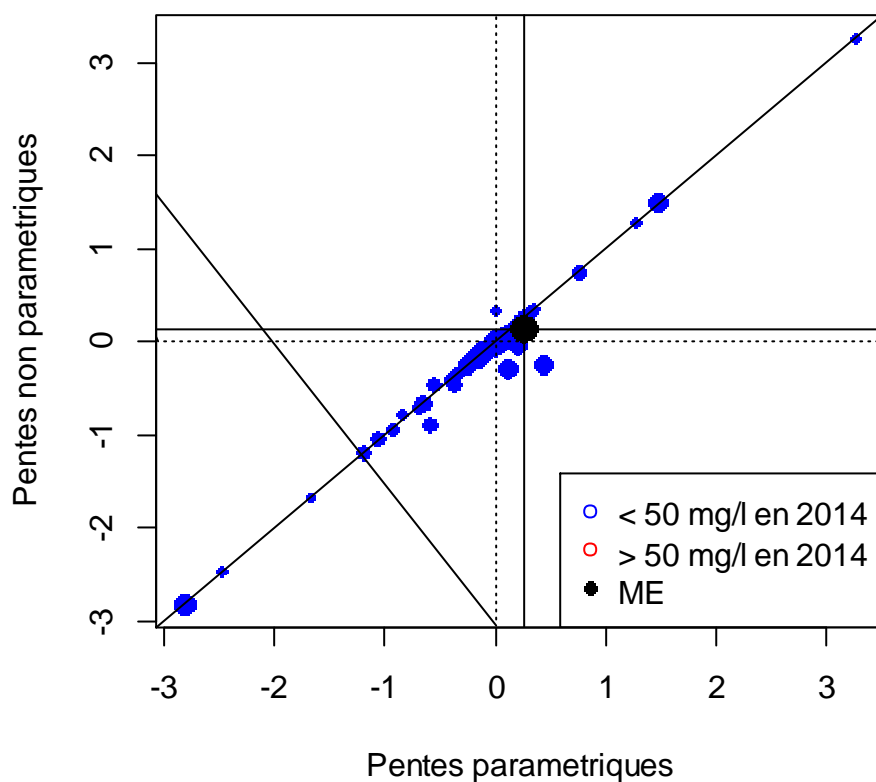
Nom de la masse d'eau : Grès et schistes du massif ardennais: Semois, Chiers et Viroin

Code : M103

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires et grès du bassin de la Gueule

Code : M141

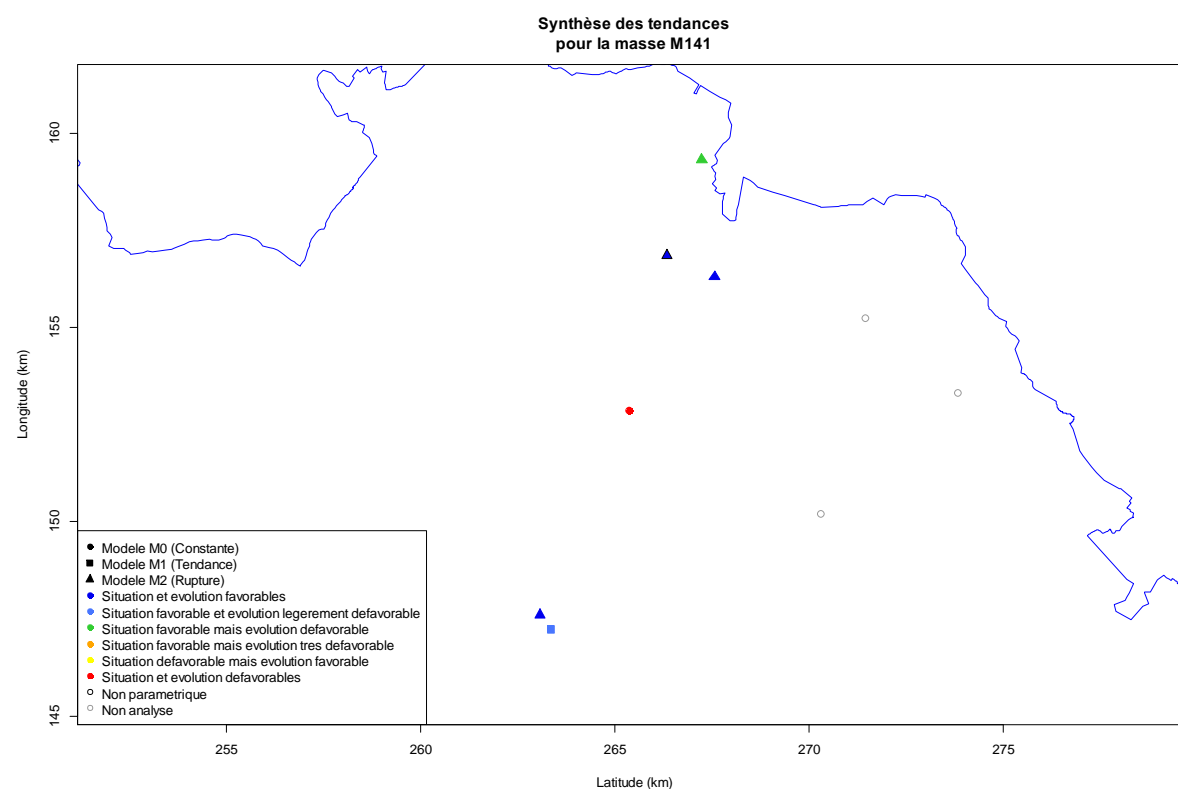
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	9
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	6
Tendance non-significative	1
Tendance significative	5

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	5	P	5	< 50 mg/l/an	5
M1	1	NP	1	≥ 50 mg/l/an	1
M2	1				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	1
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	3

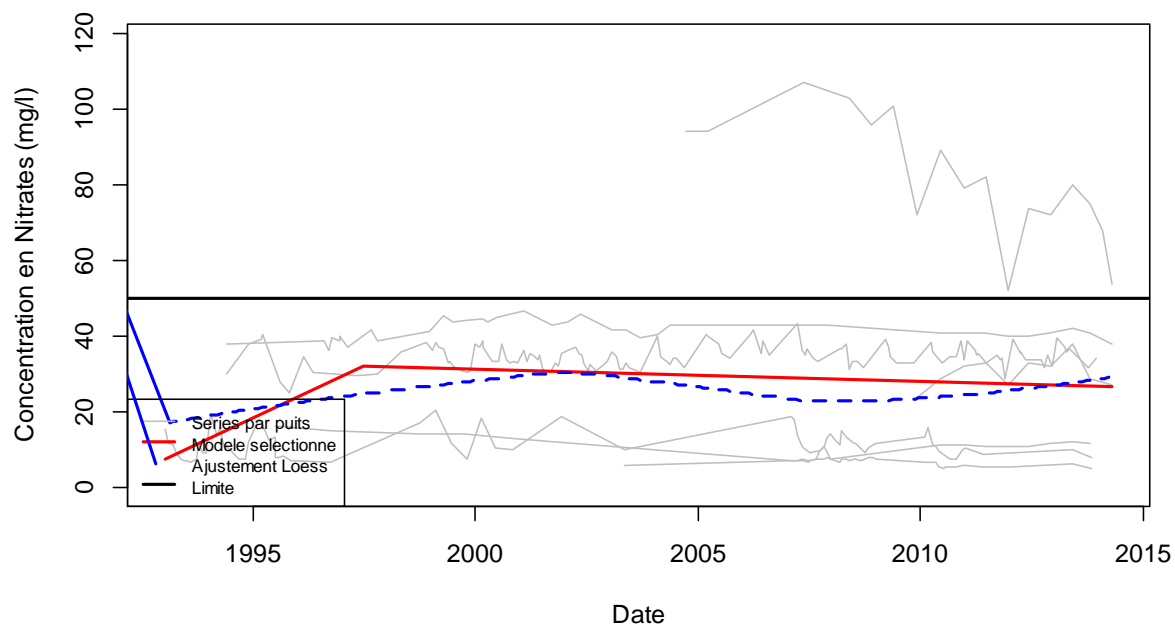
Cartographie des tendances



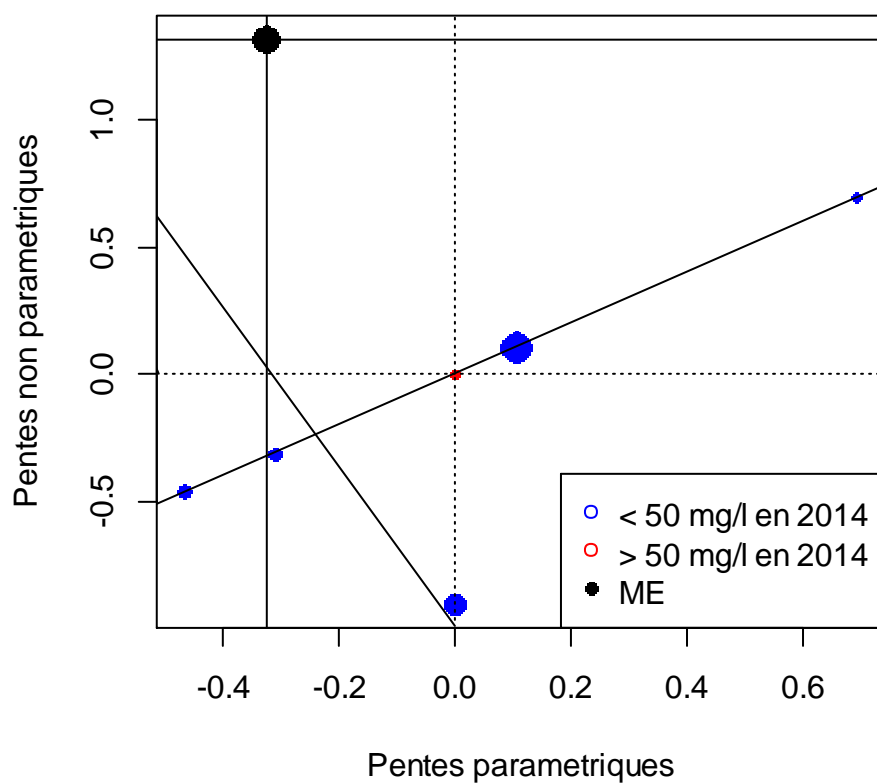
Nom de la masse d'eau : Calcaires et grès du bassin de la Gueule

Code : M141

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Calcaires et grès du bassin de la Vesdre

Code : M142

Tableau de synthèse

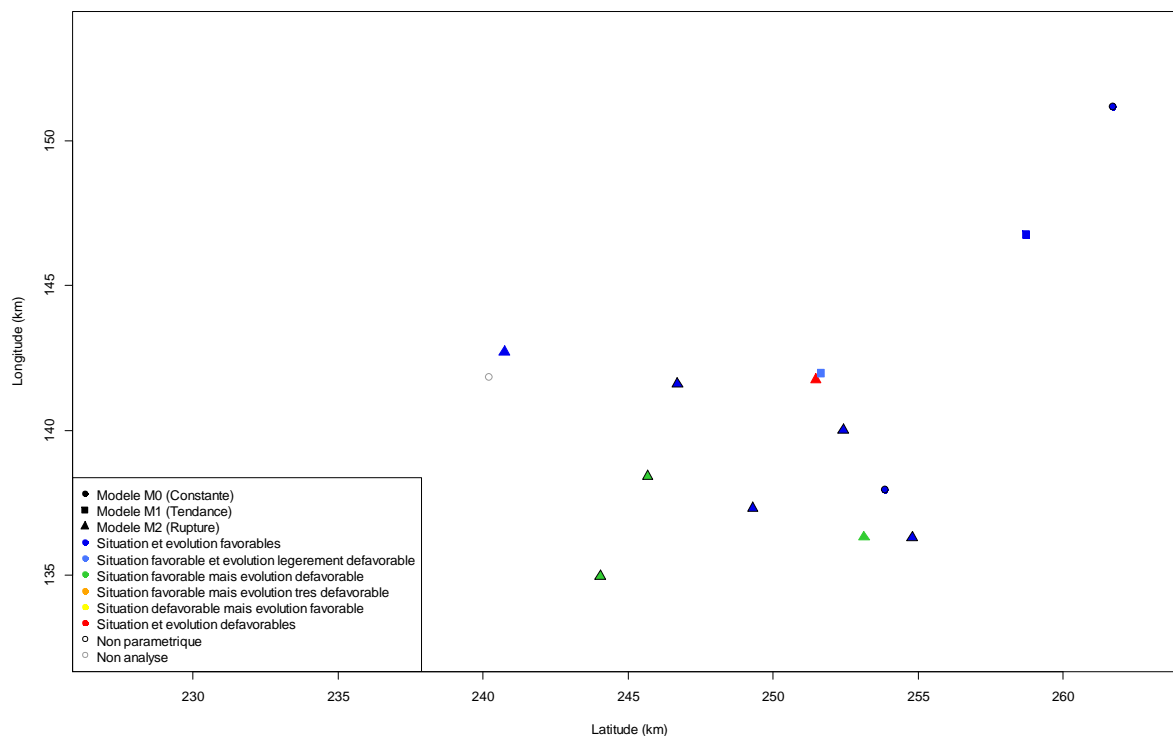
	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	14
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	13
Tendance non-significative	4
Tendance significative	9

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	2	P	5	< 50 mg/l/an	12
M1	2	NP	8	≥ 50 mg/l/an	1
M2	9				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	1
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	0
Situation favorable mais évolution défavorable	3
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	1
Situation et évolution favorables	8

Cartographie des tendances

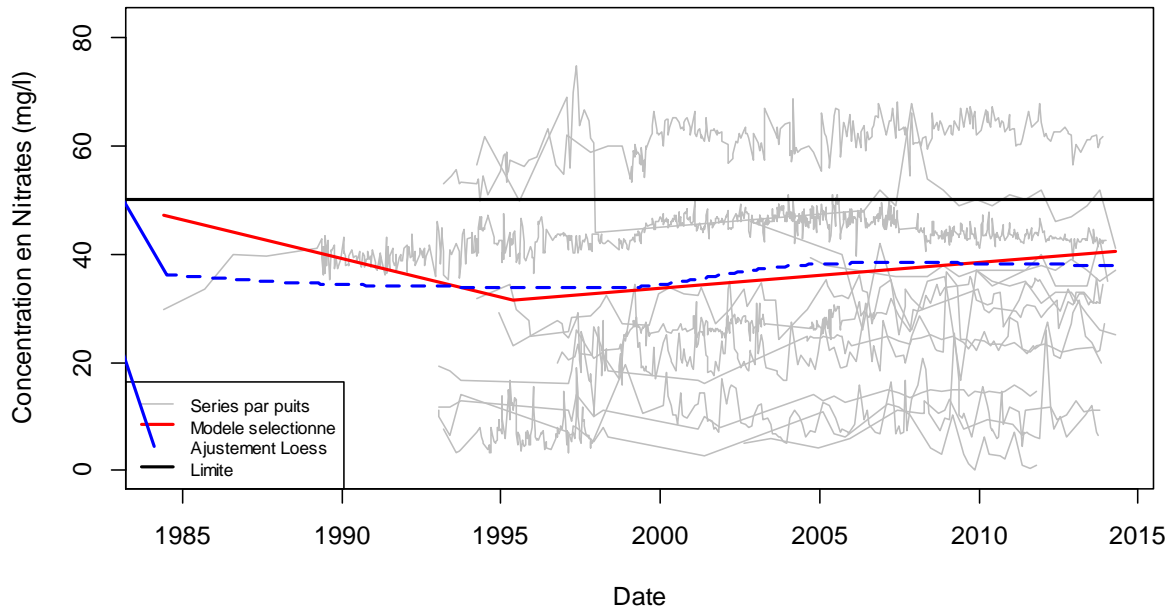
Synthèse des tendances pour la masse M142



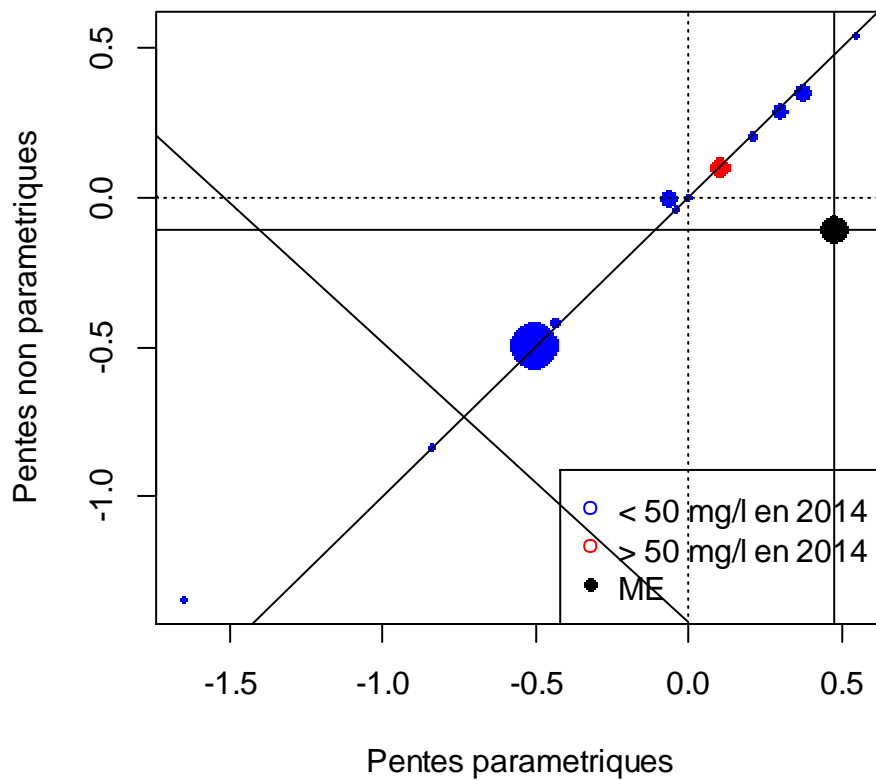
Nom de la masse d'eau : Calcaires et grès du bassin de la Vesdre

Code : M142

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Craies du Pays de Herve

Code : M151

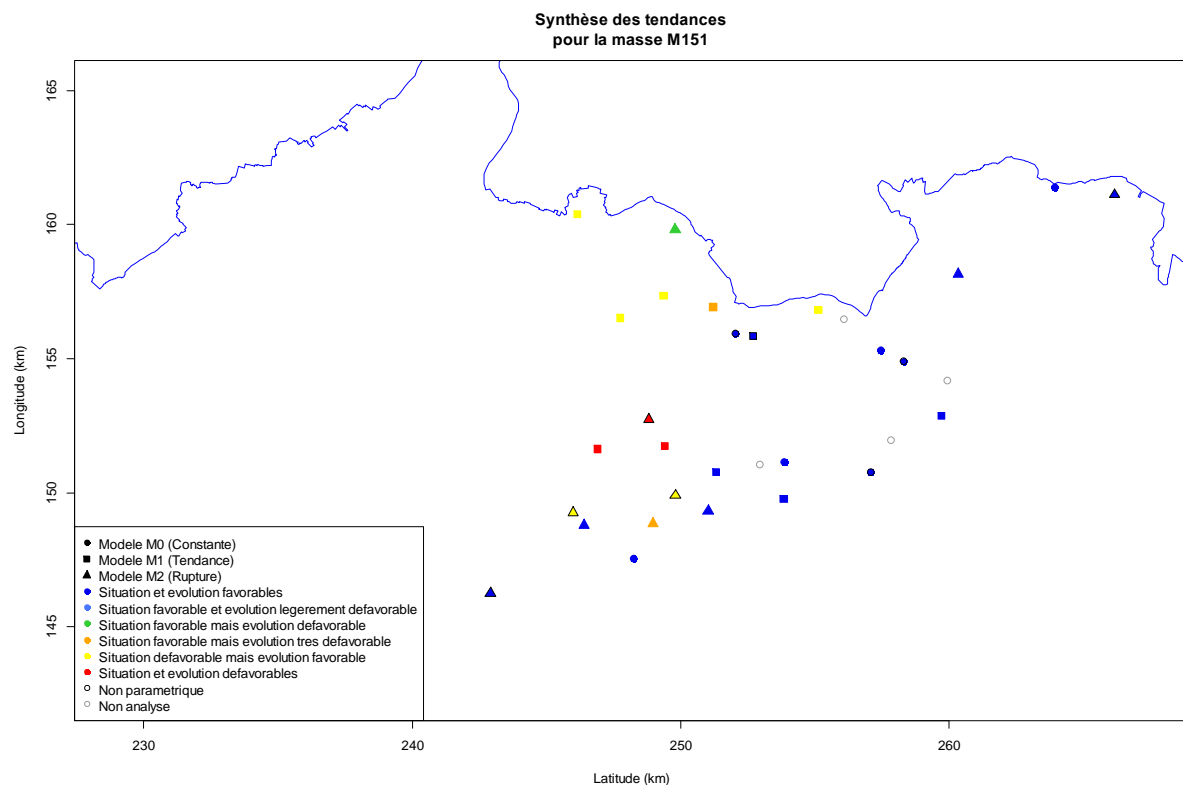
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	32
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	28
Tendance non-significative	7
Tendance significative	21

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	7	P	19	< 50 mg/l/an	19
M1	11	NP	9	≥ 50 mg/l/an	9
M2	10				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	3
Situation défavorable mais évolution favorable	6
Situation favorable mais évolution très défavorable	2
Situation favorable mais évolution défavorable	1
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	0
Situation et évolution favorables	16

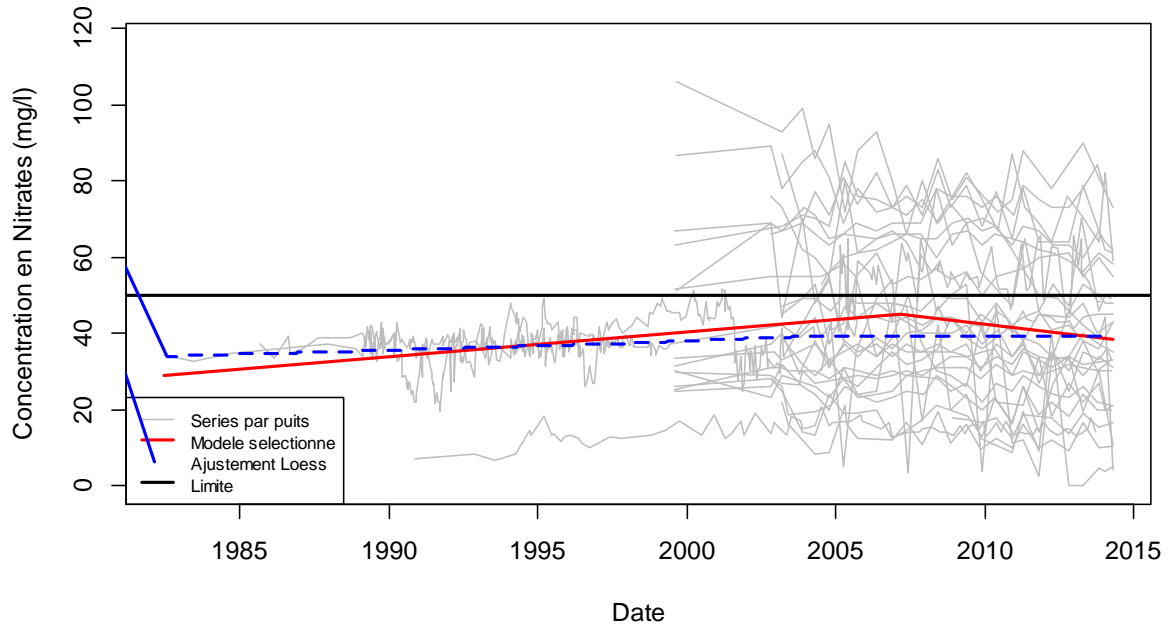
Cartographie des tendances



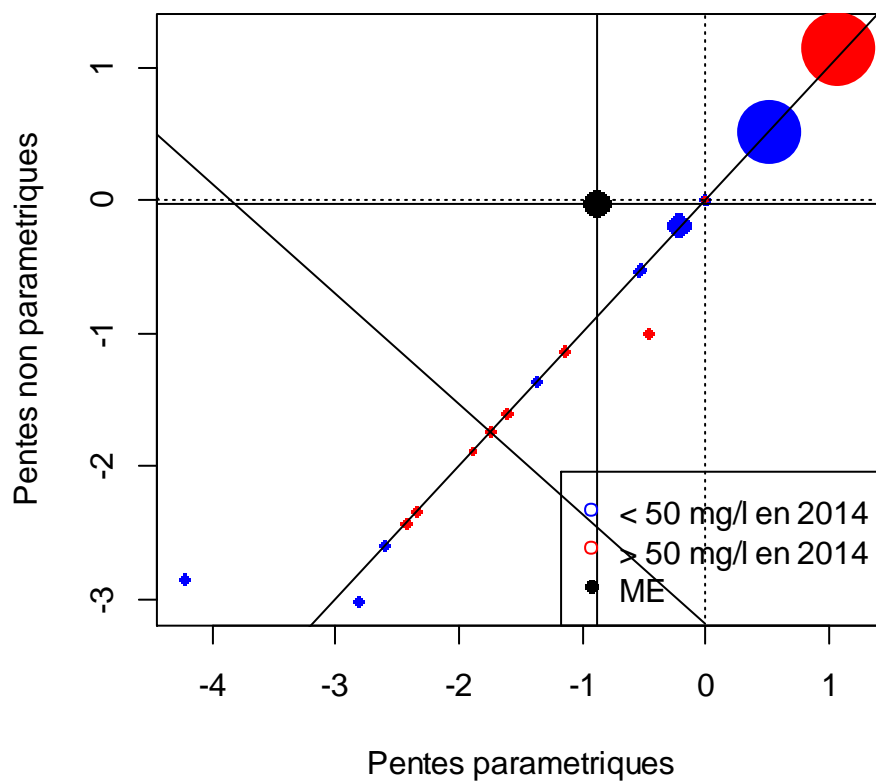
Nom de la masse d'eau : Craies du Pays de Herve

Code : M151

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Grès du Luxembourg (Sinémurien - Lias inférieur)

Code : R092

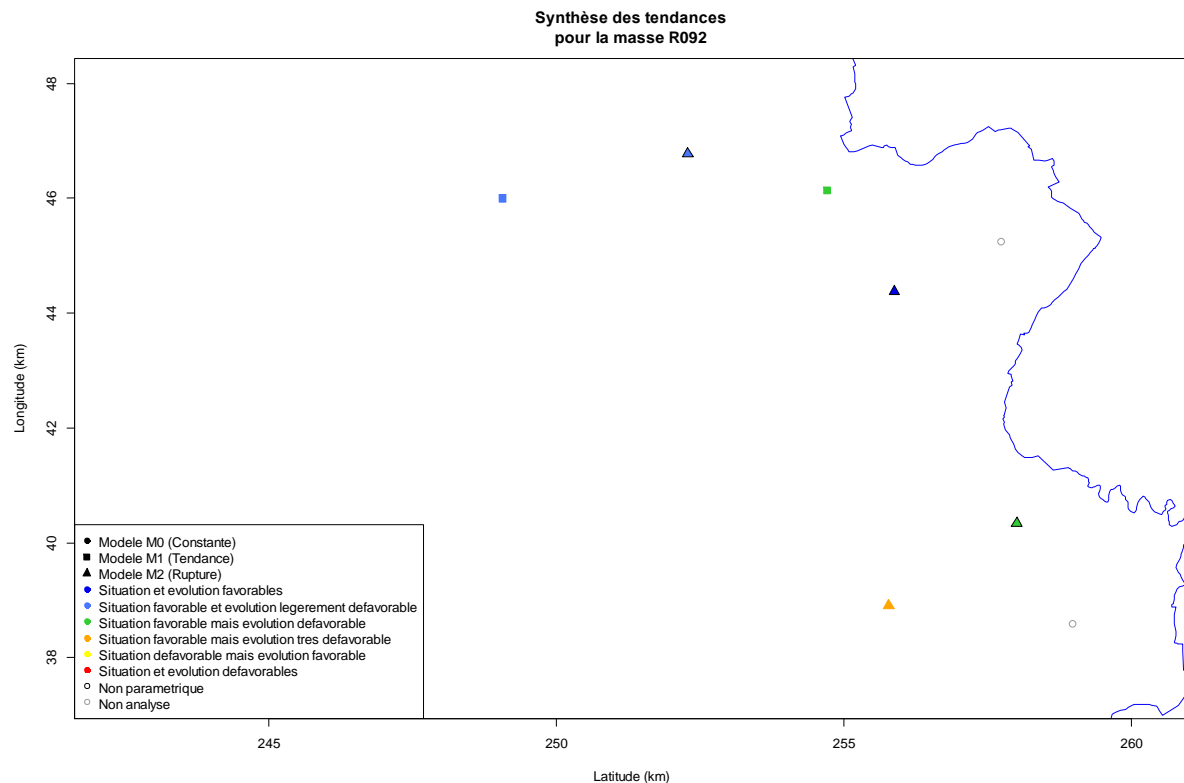
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	8
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	6
Tendance non-significative	1
Tendance significative	5

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	0	P	3	< 50 mg/l/an	6
M1	2	NP	3	≥ 50 mg/l/an	0
M2	4				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	1
Situation favorable mais évolution défavorable	2
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	2
Situation et évolution favorables	1

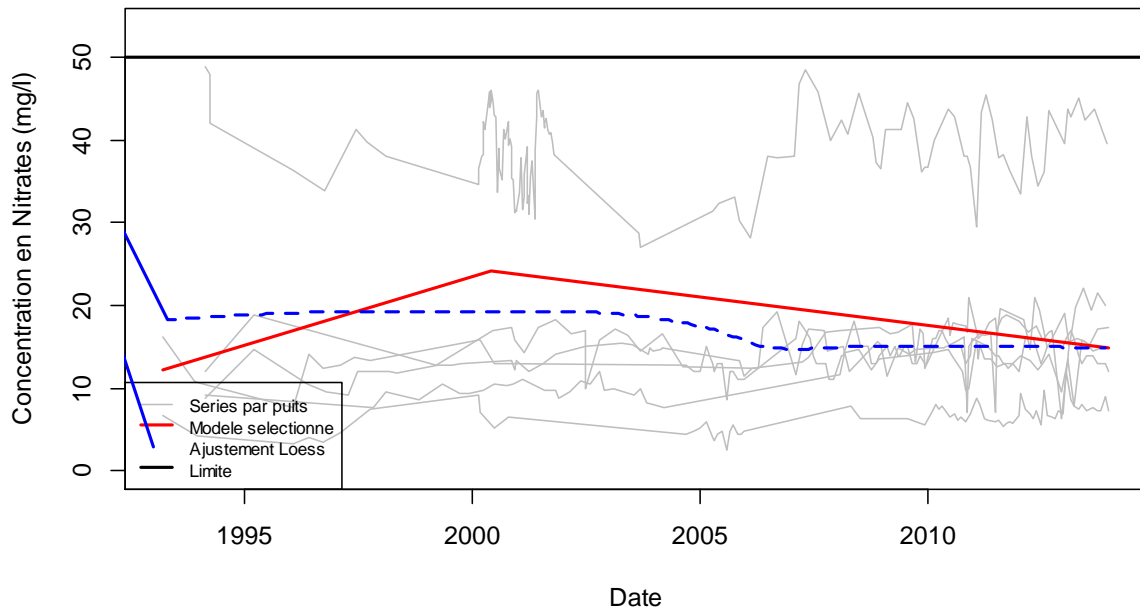
Cartographie des tendances



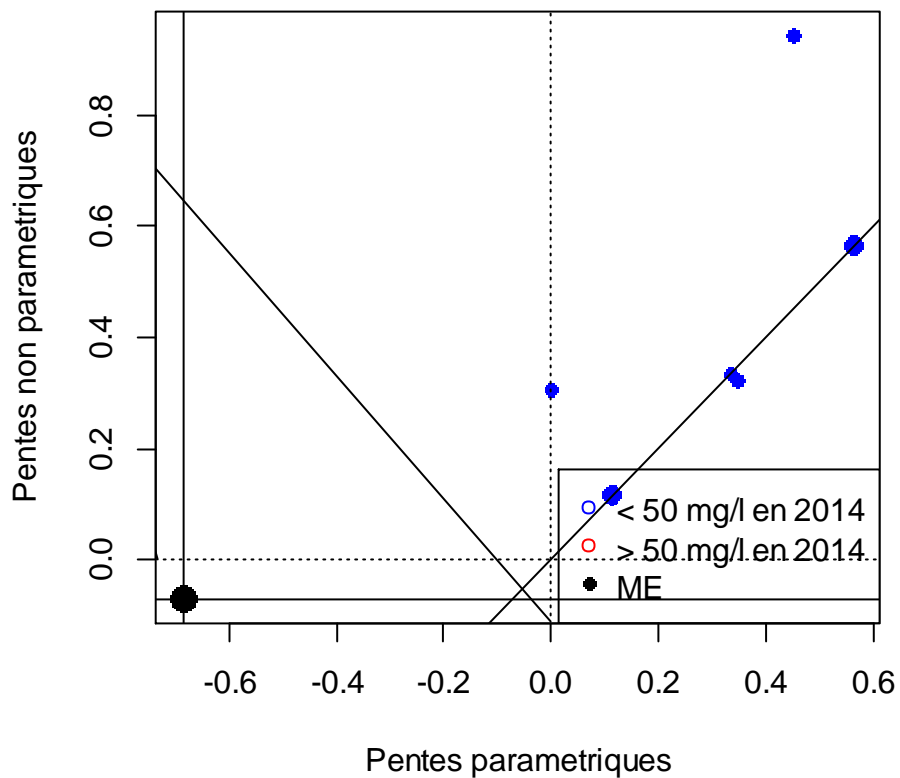
Nom de la masse d'eau : Grès du Luxembourg (Sinémurien - Lias inférieur)

Code : R092

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



Nom de la masse d'eau : Grès et Schistes du massif ardennais: bassin de la Moselle

Code : R101

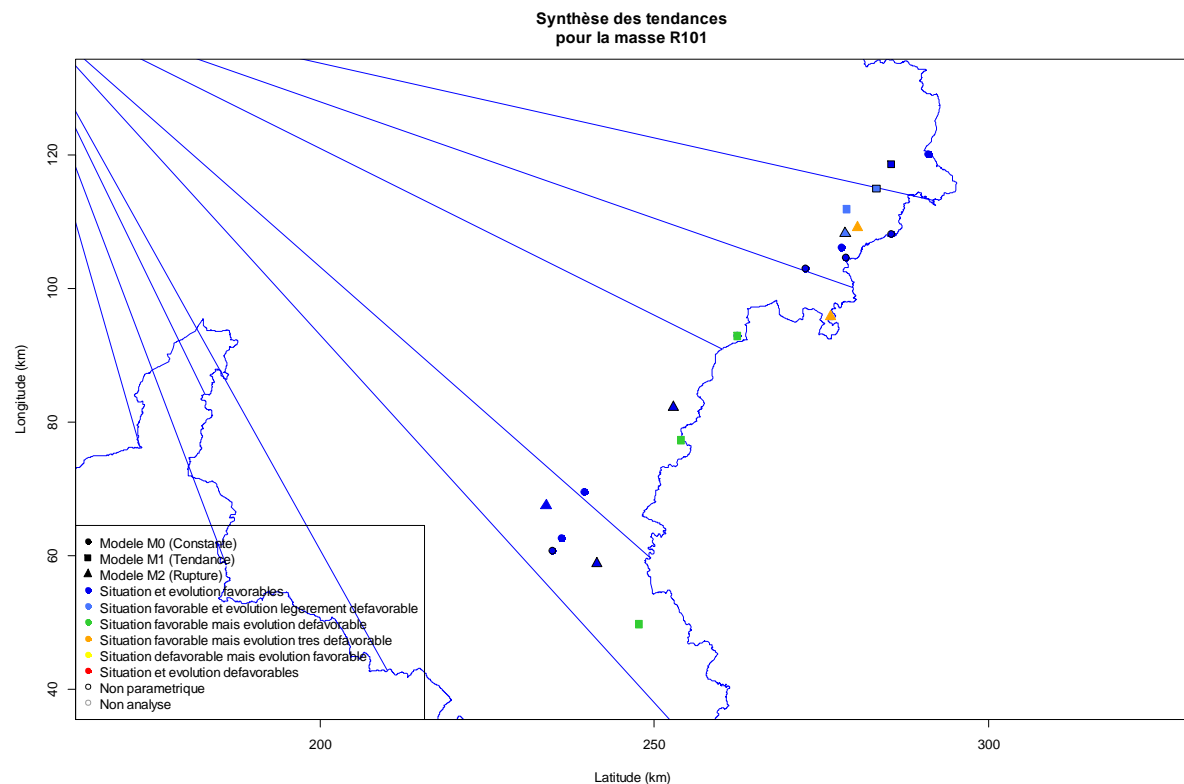
Tableau de synthèse

	Nombre
Séries disponibles dans la masse d'eau	21
Séries ayant fait l'objet de l'analyse	21
Tendance non-significative	10
Tendance significative	11

Type de modèle	Nbre		Nbre	Conc. 12/2013	Nbre
M0	9	P	12	< 50 mg/l/an	21
M1	6	NP	9	≥ 50 mg/l/an	0
M2	6				

Tendance	Nombre
Situation et évolution défavorables	0
Situation défavorable mais évolution favorable	0
Situation favorable mais évolution très défavorable	2
Situation favorable mais évolution défavorable	3
Situation favorable et évolution légèrement défavorable	3
Situation et évolution favorables	13

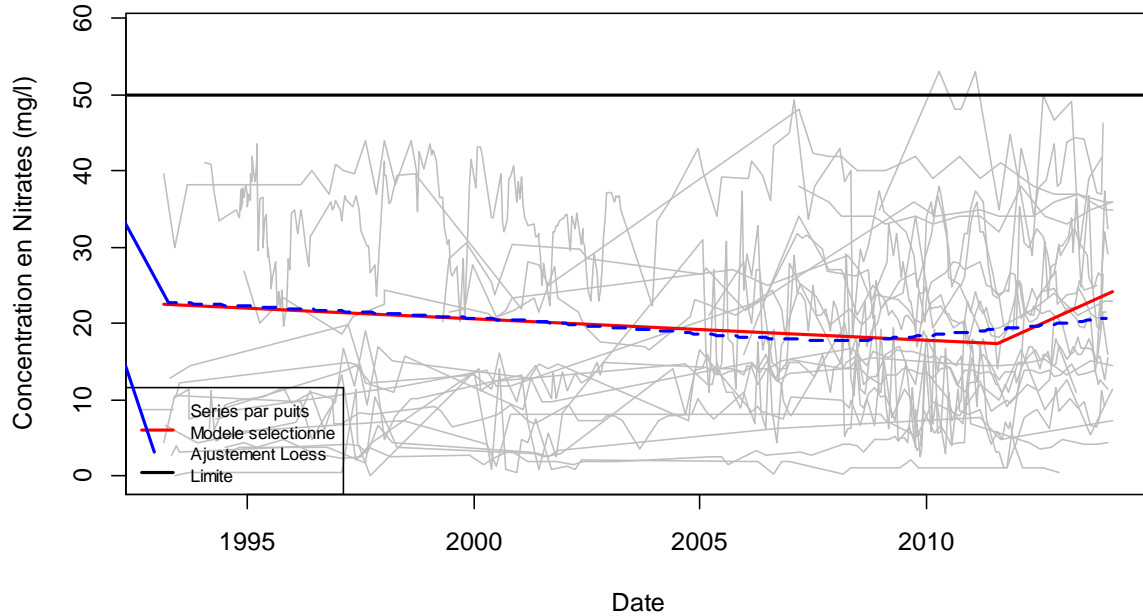
Cartographie des tendances



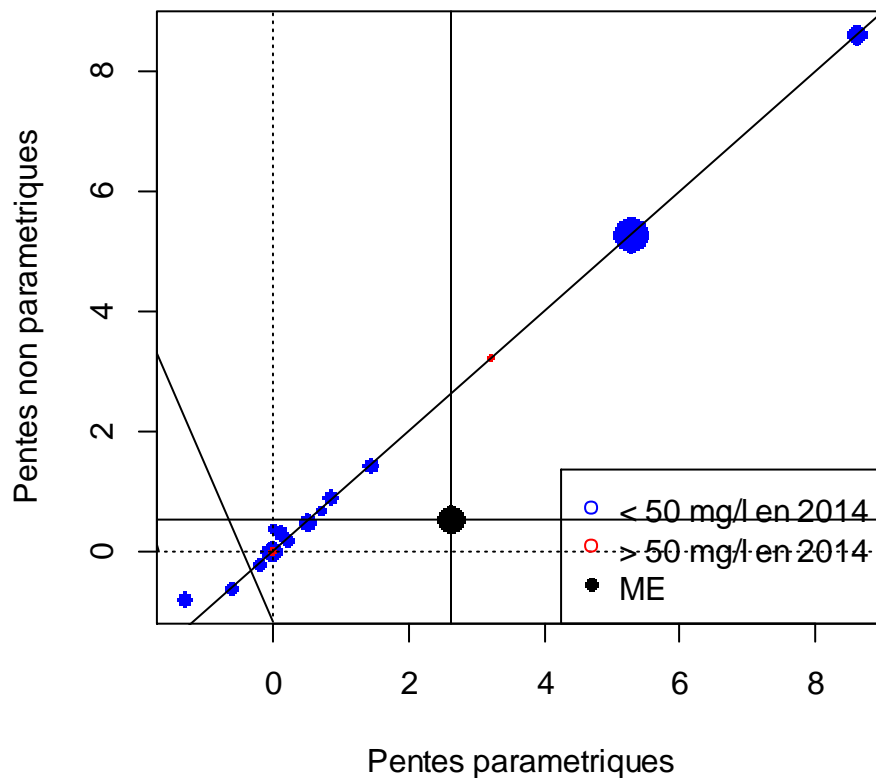
Nom de la masse d'eau : Grès et Schistes du massif ardennais: bassin de la Moselle

Code : R101

Graphique de la tendance agrégée



Comparaison des pentes entre modèles paramétriques et non paramétriques



**ANNEXE 3 –
TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES EAUX DE SURFACE**

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2017	estimation 2021	Proba dépassement 2017	Proba dépassement 2021	Proba dépassement 2027	pente 1	pente 2	pvalueur pente 1	pvalueur pente 2	date de rupture	pvalueur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
395	P	3.41	22.73	22.63	23.10	24.51	25.93	1.04E-07	4.36E-07	1.69E-06	6.78	0.24	1.86E-16	0.580	2009.7	9.41E-07	M2
400	NP	7.12	22.48	22.46	22.58	22.96	23.33	7.55E-04	8.76E-04	1.01E-03	1.91	0.06	6.68E-03	0.094	1982.5	-	M2
630	NP	7.90	16.77	16.93	16.17	13.89	11.62	6.04E-03	3.70E-03	2.21E-03	0.52	-0.38	1.92E-04	0.308	2006.8	-	M2
670	P	7.59	17.49	17.69	16.72	13.84	10.96	2.94E-04	9.38E-05	2.76E-05	0.68	-0.48	6.9E-11	2.41E-04	2000.1	2.84E-08	M2
1270	NP	12.38	12.38	12.38	12.38	12.38	12.38	2.42E-09	2.42E-09	2.42E-09	-	-	-	-	-	-	M0
1281	NP	13.93	13.93	13.93	13.93	13.93	13.93	3.75E-06	3.75E-06	3.75E-06	-	-	-	-	-	-	M0
1395	NP	17.31	15.56	15.37	16.15	18.48	20.81	1.05E-04	2.78E-04	6.95E-04	-0.28	0.39	0.047	0.099	2005.7	-	M2
1552	P	10.39	4.65	5.33	2.48	-6.08	-14.63	1.41E-19	1.64E-26	1.45E-34	0.12	-1.43	0.621	1.18E-09	2008.2	2.74E-08	M2
1670	NP	29.06	31.47	31.41	31.67	32.45	33.24	3.66E-03	5.13E-03	7.10E-03	0.13	-	0.015	-	-	-	M1
2280	NP	41.22	23.63	23.42	24.44	27.53	30.61	7.01E-02	9.73E-02	1.31E-01	-0.68	0.51	5.12E-13	0.054	2006.8	-	M2
2328	P	28.11	28.11	28.11	28.11	28.11	28.11	1.66E-08	1.66E-08	1.66E-08	-	-	-	-	-	-	M0
3260	NP	13.35	13.94	13.89	14.12	14.82	15.53	3.28E-22	2.01E-21	1.19E-20	-0.05	0.12	0.304	0.010	2001.7	-	M2
3294	P	13.93	13.93	13.93	13.93	13.93	13.93	1.13E-38	1.13E-38	1.13E-38	-	-	-	-	-	-	M0
3315	NP	13.84	13.01	13.13	12.59	10.97	9.34	1.27E-20	2.78E-22	5.21E-24	0.09	-0.27	0.178	9.89E-03	2008.0	-	M2
3450	P	9.49	10.49	10.48	10.53	10.68	10.83	1.24E-75	4.53E-75	1.65E-74	0.03	-	0.029	-	-	-	M1
3460	NP	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	1.10E-36	1.10E-36	1.10E-36	-	-	-	-	-	-	M0
3480	NP	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	3.71E-18	3.71E-18	3.71E-18	-	-	-	-	-	-	M0
3510	NP	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	9.3E-102	9.28E-102	9.28E-102	-	-	-	-	-	-	M0
3550	NP	7.81	7.94	8.00	7.73	6.92	6.11	1.4E-117	4.81E-122	1.35E-126	0.16	-0.14	0.029	0.049	2006.0	-	M2
3570	P	9.47	9.47	9.47	9.47	9.47	9.47	6.11E-61	6.11E-61	6.11E-61	-	-	-	-	-	-	M0
3621	P	7.98	7.98	7.98	7.98	7.98	7.98	4.28E-33	4.28E-33	4.28E-33	-	-	-	-	-	-	M0
3700	P	6.74	10.36	10.36	10.35	10.30	10.25	2.18E-54	1.64E-54	1.23E-54	0.33	-0.01	4.76E-07	0.682	1986.8	6.58E-04	M2
3771	NP	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.34E-21	8.34E-21	8.34E-21	-	-	-	-	-	-	M0
3774	NP	21.54	21.54	21.54	21.54	21.54	21.54	4.77E-04	4.77E-04	4.77E-04	-	-	-	-	-	-	M0

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2017	estimation 2021	Proba dépassement 2017	Proba dépassement 2021	Proba dépassement 2027	pente 1	pente 2	pvalueur pente 1	pvalueur pente 2	date de rupture	pvalueur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
3801	NP	7.72	12.72	12.63	13.02	14.18	15.35	1.32E-59	4.92E-56	1.42E-52	0.14	0.19	5.51E-04	3.17E-07	2001.1	-	M2
3802	P	19.55	18.80	18.70	19.10	20.30	21.49	2.62E-31	4.41E-29	6.09E-27	-0.84	0.20	0.090	2.02E-10	1990.7	4.99E-07	M2
3803	NP	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	7.8E-213	7.81E-213	7.81E-213	-	-	-	-	-	-	M0
3820	P	12.13	13.24	13.23	13.30	13.52	13.74	4.11E-83	3.83E-82	3.53E-81	0.04	-	8.11E-03	-	-	-	M1
3850	NP	23.35	26.39	26.39	26.40	26.41	26.42	2.61E-11	2.66E-11	2.72E-11	0.20	0.00	0.041	0.863	1999.2	-	M2
3910	NP	18.01	14.35	14.52	13.75	11.45	9.16	3.45E-12	1.50E-13	5.40E-15	-0.02	-0.38	0.588	0.032	2006.2	-	M2
3930	NP	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33	17.33	9.34E-04	9.34E-04	9.34E-04	-	-	-	-	-	-	M0
3941	P	16.90	16.90	16.90	16.90	16.90	16.90	3.03E-13	3.03E-13	3.03E-13	-	-	-	-	-	-	M0
3960	P	15.66	17.73	17.70	17.83	18.24	18.65	3.34E-13	6.51E-13	1.26E-12	0.07	-	0.037	-	-	-	M1
4021	NP	12.66	12.66	12.66	12.66	12.66	12.66	1.68E-17	1.68E-17	1.68E-17	-	-	-	-	-	-	M0
4050	P	20.18	20.18	20.18	20.18	20.18	20.18	6.84E-08	6.84E-08	6.84E-08	-	-	-	-	-	-	M0
4110	NP	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	2.61E-08	2.61E-08	2.61E-08	-	-	-	-	-	-	M0
4130	NP	25.59	25.59	25.59	25.59	25.59	25.59	7.11E-08	7.11E-08	7.11E-08	-	-	-	-	-	-	M0
4150	NP	22.19	25.13	25.06	25.38	26.34	27.30	7.41E-16	8.75E-15	9.40E-14	0.00	0.16	0.624	1.29E-06	1996.5	-	M2
4271	P	14.86	14.86	14.86	14.86	14.86	14.86	1.77E-12	1.77E-12	1.77E-12	-	-	-	-	-	-	M0
4325	NP	14.29	12.07	12.24	11.44	9.03	6.62	3.87E-17	4.15E-19	3.40E-21	0.06	-0.40	0.342	0.011	2007.1	-	M2
4390	P	10.46	12.09	12.14	11.92	11.28	10.64	4.81E-53	8.89E-55	1.54E-56	0.19	-0.11	7.48E-04	1.53E-03	1998.1	4.36E-05	M2
4430	P	10.99	10.86	10.91	10.71	10.12	9.53	7.97E-85	2.51E-87	7.25E-90	0.09	-0.10	0.589	2.01E-04	1998.1	3.62E-03	M2
4580	P	10.38	9.82	9.91	9.56	8.50	7.45	8.72E-50	2.68E-52	7.11E-55	0.20	-0.18	0.998	1.5E-06	1995.2	5.20E-04	M2
4630	NP	8.58	12.06	12.15	11.79	10.71	9.63	1.25E-22	8.18E-24	4.97E-25	0.26	-0.18	1.13E-04	7.86E-05	2002.5	-	M2
4770	NP	16.81	16.81	16.81	16.81	16.81	16.81	2.32E-08	2.32E-08	2.32E-08	-	-	-	-	-	-	M0
4780	NP	13.93	29.07	29.29	28.32	25.40	22.48	2.54E-04	3.98E-05	5.07E-06	0.65	-0.49	1.71E-14	0.017	2007.3	-	M2
4800	P	11.28	16.57	16.51	16.78	17.59	18.40	5.87E-13	2.02E-12	6.75E-12	0.13	-	1.01E-08	-	-	-	M1
5720	P	24.62	24.62	24.62	24.62	24.62	24.62	2.17E-14	2.17E-14	2.17E-14	-	-	-	-	-	-	M0

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2017	estimation 2021	Proba dépassement 2017	Proba dépassement 2021	Proba dépassement 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
6280	NP	18.43	25.53	25.49	25.66	26.20	26.73	2.20E-15	8.52E-15	3.20E-14	4.69	0.09	0.012	0.084	1999.3	-	M2
11211	P	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03	1.15E-13	1.15E-13	1.15E-13	-	-	-	-	-	-	M0
11221	P	15.68	15.68	15.68	15.68	15.68	15.68	1.44E-09	1.44E-09	1.44E-09	-	-	-	-	-	-	M0
12409	P	16.73	18.69	18.89	17.97	15.23	12.49	2.22E-14	1.26E-16	4.75E-19	2.98	-0.46	0.297	1.29E-11	1999.0	8.95E-05	M2
40039	NP	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	1.42E-12	1.42E-12	1.42E-12	-	-	-	-	-	-	M0
50099	P	33.81	41.47	39.31	48.45	75.84	103.23	0.38	1.00	1.00	-1.22	4.57	0.038	1.28E-04	2012.0	0.015	M2
50130	P	24.43	28.17	27.81	29.52	34.66	39.80	1.73E-10	1.29E-06	8.84E-04	0.86	-	0.022	-	-	-	M1

**ANNEXE 4 –
TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES
(EAUX DE SURFACE)**

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV100	P	0.885	0.910	0.897	0.871	0.792	0.713	0.005	-0.013	0.036	0.050	2003	0.074	M2
BV110	P	0.831	0.784	0.763	0.721	0.595	0.469	0.005	-0.021	0.076	5.06E-04	2003	1.21E-03	M2
BV120	P	0.718	0.739	0.720	0.682	0.568	0.454	0.007	-0.019	1.01E-03	6.47E-04	2003	6.15E-04	M2
BV130	NP	0.988	0.883	0.871	0.847	0.774	0.701	0.003	-0.012	0.138	0.042	1998	-	M2
BV140	P	0.815	0.812	0.793	0.756	0.645	0.534	0.006	-0.019	5.40E-03	5.15E-04	2003	6.82E-04	M2
BV150	NP	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	M0
BV160	NP	0.948	0.780	0.741	0.665	0.436	0.207	0.007	-0.038	6.91E-04	1.75E-03	2003	-	M2
BV170	NP	0.897	0.834	0.798	0.726	0.511	0.296	0.009	-0.036	4.03E-05	1.75E-03	2003	-	M2
BV180	P	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	-	-	-	-	-	-	M0
BV200	P	0.786	0.888	0.877	0.856	0.792	0.728	0.006	-0.011	1.53E-04	0.068	2003	0.047	M2
BV210	NP	0.904	0.953	0.948	0.938	0.908	0.878	0.005	-0.005	0.020	0.181	1998	-	M2
BV220	NP	0.928	1.061	1.067	1.080	1.118	1.156	-0.009	0.006	0.283	6.83E-05	1980	-	M2
BV230	NP	0.936	1.101	1.106	1.116	1.146	1.176	0.000	0.005	0.655	5.19E-04	1980	-	M2
BV240	P	0.626	0.914	0.901	0.875	0.797	0.718	0.013	-0.013	5.64E-10	0.054	2003	6.39E-03	M2
BV300	P	0.925	1.054	1.061	1.075	1.117	1.160	-0.008	0.007	0.229	2.23E-05	1982	0.052	M2
BV310	NP	0.820	0.898	0.895	0.889	0.869	0.850	0.005	-0.003	0.033	0.137	1997	-	M2
BV320	P	0.903	1.025	1.027	1.033	1.051	1.068	0.003	-	0.028	-	-	-	M1
BV330	P	0.819	0.819	0.819	0.819	0.819	0.819	-	-	-	-	-	-	M0
BV340	P	0.659	0.903	0.886	0.850	0.745	0.639	0.013	-0.018	2.06E-10	5.47E-03	2003	4.11E-04	M2
BV350	P	0.584	0.813	0.803	0.782	0.720	0.657	0.015	-0.010	1.41E-14	1.38E-05	1997	1.53E-09	M2
BV360	P	0.532	0.907	0.900	0.887	0.847	0.806	0.019	-0.007	1.2E-17	6.58E-03	1997	2.98E-08	M2
BV370	P	0.824	0.824	0.824	0.824	0.824	0.824	-	-	-	-	-	-	M0
BV380	P	0.598	0.930	0.927	0.919	0.896	0.873	0.015	-0.004	7.31E-13	0.183	1997	1.80E-04	M2
BV400	P	0.520	0.907	0.901	0.889	0.854	0.819	0.018	-0.006	2.12E-13	0.090	1997	5.07E-05	M2

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV410	P	0.577	0.823	0.817	0.804	0.766	0.728	0.013	-0.006	5.14E-09	0.064	1997	7.96E-04	M2
BV420	P	0.559	0.872	0.867	0.857	0.827	0.797	0.016	-0.005	6.17E-15	0.033	1996	1.52E-06	M2
BV430	P	0.585	0.996	0.985	0.963	0.897	0.831	0.016	-0.011	1.95E-12	0.123	2003	7.45E-03	M2
BV440	P	0.663	0.783	0.770	0.744	0.667	0.589	0.013	-0.013	6.29E-07	8.68E-05	1997	3E-06	M2
BV450	P	0.615	0.765	0.752	0.726	0.649	0.573	0.014	-0.013	4.94E-09	2.28E-05	1997	1.88E-07	M2
BV460	P	0.591	0.789	0.782	0.768	0.727	0.685	0.013	-0.007	3.29E-08	0.017	1996	1.59E-04	M2
BV470	P	0.586	0.826	0.819	0.804	0.760	0.717	0.015	-0.007	6.56E-11	8.28E-03	1996	9.96E-06	M2
BV500	P	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	-	-	-	-	-	-	M0
BV510	P	1.048	0.842	0.837	0.827	0.798	0.768	-0.005	-	1.06E-06	-	-	-	M1
BV520	P	0.993	0.839	0.835	0.828	0.806	0.784	-0.004	-	2.52E-03	-	-	-	M1
BV530	P	1.013	0.841	0.836	0.828	0.804	0.779	-0.004	-	5.48E-04	-	-	-	M1
BV540	NP	1.014	0.828	0.825	0.818	0.796	0.775	-0.007	-0.004	0.038	0.025	1983	-	M2
BV550	P	0.979	0.741	0.735	0.724	0.690	0.656	-0.006	-	6.86E-08	-	-	-	M1
BV560	P	0.873	0.766	0.759	0.745	0.702	0.659	0.001	-0.007	0.068	2.11E-03	1996	0.071	M2
BV570	P	0.950	0.828	0.808	0.767	0.644	0.521	0.003	-0.020	0.795	6.73E-07	2003	8.08E-06	M2
BV600	P	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	-	-	-	-	-	-	M0
BV610	NP	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	-	-	-	-	-	-	M0
BV620	NP	0.796	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.006	0.000	8.60E-03	0.729	1998	-	M2
BV630	P	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	0.917	-	-	-	-	-	-	M0
BV640	P	0.758	0.837	0.831	0.820	0.784	0.749	0.007	-0.006	7.75E-04	0.028	1996	6.65E-03	M2
BV700	NP	0.787	0.787	0.787	0.787	0.787	0.787	-	-	-	-	-	-	M0
BV710	P	0.683	0.647	0.637	0.616	0.555	0.495	0.006	-0.010	0.439	9.42E-03	1995	0.029	M2
BV720	NP	0.868	0.693	0.686	0.672	0.630	0.588	0.000	-0.007	0.880	5.07E-03	1988	-	M2
BV730	P	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	-	-	-	-	-	-	M0

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV740	P	0.618	0.658	0.641	0.606	0.502	0.398	0.015	-0.017	9.5E-05	3.27E-07	1995	6.99E-08	M2
BV800	NP	0.710	0.724	0.712	0.689	0.620	0.551	0.008	-0.012	0.021	6.03E-03	1997	-	M2
BV810	NP	0.884	0.884	0.884	0.884	0.884	0.884	-	-	-	-	-	-	M0
BV820	P	0.639	0.551	0.533	0.498	0.393	0.287	0.015	-0.018	0.223	2.5E-07	1991	3.18E-06	M2
BV830	P	0.583	0.524	0.505	0.466	0.349	0.233	0.017	-0.019	0.014	8.89E-10	1992	3.65E-09	M2
BV840	P	0.385	0.449	0.429	0.388	0.266	0.143	0.023	-0.020	7.57E-07	1.58E-10	1992	1.26E-11	M2
BV850	P	0.628	0.576	0.561	0.531	0.442	0.352	0.014	-0.015	0.155	1.03E-05	1991	5.22E-05	M2
BV900	P	0.635	0.590	0.577	0.550	0.469	0.389	0.011	-0.013	0.103	7.72E-07	1992	4.16E-06	M2
BV910	NP	0.613	0.576	0.560	0.527	0.430	0.333	0.011	-0.016	1.70E-04	8.58E-04	1995	-	M2
BV920	NP	0.676	0.554	0.537	0.501	0.395	0.289	0.008	-0.018	7.24E-03	9.83E-04	1995	-	M2
BV930	P	0.569	0.438	0.414	0.367	0.225	0.083	0.010	-0.024	0.366	5.18E-07	1997	4.33E-06	M2
BV940	P	0.443	0.358	0.333	0.282	0.130	-0.022	0.024	-0.025	4.56E-04	2.49E-16	1991	2.66E-15	M2
BV950	P	0.537	0.336	0.311	0.262	0.113	-0.035	0.015	-0.025	0.969	1.43E-10	1992	2.32E-08	M2
BV960	P	0.372	0.320	0.290	0.231	0.051	-0.128	0.020	-0.030	9.37E-05	1.04E-12	1995	1.34E-12	M2
BV970	NP	0.377	0.475	0.459	0.427	0.331	0.235	0.023	-0.016	7.85E-06	9.97E-05	1991	-	M2
BV980	P	0.393	0.408	0.387	0.345	0.219	0.094	0.022	-0.021	1.15E-05	1.23E-11	1992	4.97E-12	M2
BV990	P	0.509	0.485	0.464	0.421	0.294	0.168	0.020	-0.021	6.91E-04	1.51E-10	1992	1.89E-10	M2

**ANNEXE 5 –
TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES
(ZONE RACINAIRE)**

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV100	P	0.931	0.909	0.886	0.842	0.709	0.576	0.006	-0.022	0.111	0.022	2003	0.044	M2
BV110	P	0.662	0.755	0.734	0.693	0.571	0.449	0.016	-0.020	4.21E-05	2.63E-05	1997	3.77E-06	M2
BV120	NP	0.459	0.656	0.633	0.587	0.450	0.313	0.023	-0.023	7.92E-07	1.31E-03	1996	-	M2
BV130	P	0.835	0.849	0.815	0.748	0.546	0.345	0.011	-0.034	9.15E-04	1.70E-04	2003	1.68E-04	M2
BV140	P	0.675	0.667	0.627	0.547	0.307	0.066	0.012	-0.040	5.74E-05	9.47E-07	2003	7.49E-07	M2
BV150	P	0.882	0.920	0.892	0.836	0.670	0.503	0.010	-0.028	2.60E-04	1.76E-04	2003	1.35E-04	M2
BV160	P	0.865	0.819	0.772	0.676	0.388	0.101	0.014	-0.048	1.79E-03	1.92E-05	2003	2.46E-05	M2
BV170	P	0.755	0.836	0.775	0.654	0.291	-0.072	0.024	-0.061	1.67E-05	5.9E-06	2002	2.6E-06	M2
BV180	P	0.873	0.937	0.873	0.744	0.357	-0.030	0.025	-0.064	7.02E-05	1.34E-05	2002	7.53E-06	M2
BV200	P	0.675	0.768	0.735	0.669	0.470	0.271	0.013	-0.033	2.07E-08	1.7E-06	2003	3.24E-07	M2
BV210	P	0.786	0.876	0.845	0.783	0.596	0.409	0.013	-0.031	2.54E-06	9.18E-05	2003	3.33E-05	M2
BV220	NP	0.747	0.917	0.892	0.842	0.692	0.542	0.013	-0.025	4.92E-08	2.00E-02	2003	-	M2
BV230	P	0.694	0.878	0.848	0.787	0.606	0.425	0.015	-0.030	3.3E-11	3.57E-06	2003	1.92E-07	M2
BV240	P	0.481	0.732	0.716	0.683	0.584	0.485	0.021	-0.016	5.12E-11	1.22E-05	1996	1.59E-08	M2
BV300	NP	0.993	1.220	1.225	1.236	1.268	1.300	0.005	-	5.04E-03	-	-	-	M1
BV310	P	0.677	0.811	0.796	0.766	0.677	0.588	0.015	-0.015	4.97E-07	3.91E-05	1996	1.01E-06	M2
BV320	P	0.777	0.831	0.808	0.762	0.623	0.485	0.011	-0.023	4.03E-05	3.59E-05	2001	1.3E-05	M2
BV330	P	0.522	0.685	0.673	0.648	0.576	0.503	0.016	-0.012	9.52E-07	5.87E-04	1995	1.15E-05	M2
BV340	P	0.471	0.695	0.675	0.636	0.517	0.398	0.022	-0.020	7.39E-11	5.78E-07	1996	1.27E-09	M2
BV350	P	0.505	0.598	0.587	0.563	0.493	0.424	0.017	-0.012	1.43E-04	5.25E-05	1991	3.93E-06	M2
BV360	P	0.496	0.660	0.643	0.608	0.504	0.401	0.018	-0.017	4.2E-08	9.7E-06	1996	1.25E-07	M2
BV370	P	0.661	0.531	0.514	0.479	0.376	0.273	0.007	-0.017	0.989	1.38E-04	1996	1.59E-03	M2
BV380	P	0.498	0.688	0.678	0.656	0.591	0.526	0.020	-0.011	5.07E-08	1.13E-04	1992	2.96E-07	M2
BV400	P	0.452	0.647	0.627	0.587	0.467	0.346	0.021	-0.020	4.95E-09	2.48E-06	1996	1.83E-08	M2

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV410	P	0.482	0.661	0.639	0.597	0.471	0.344	0.020	-0.021	2.16E-09	1E-06	1997	9.5E-09	M2
BV420	P	0.499	0.692	0.681	0.660	0.597	0.534	0.020	-0.011	2.86E-07	3.89E-04	1992	1.87E-06	M2
BV430	P	0.627	0.541	0.523	0.486	0.376	0.267	0.009	-0.018	0.32549	6.88E-05	1996	3.30E-04	M2
BV440	P	0.548	0.615	0.600	0.571	0.483	0.395	0.018	-0.015	3.37E-04	8.95E-06	1992	1.43E-06	M2
BV450	P	0.634	0.519	0.499	0.460	0.342	0.224	0.009	-0.020	0.511	1.58E-05	1996	1.27E-04	M2
BV460	P	0.467	0.656	0.643	0.618	0.542	0.466	0.022	-0.013	1.67E-08	9.37E-06	1992	2.09E-08	M2
BV470	P	0.476	0.684	0.673	0.652	0.587	0.522	0.021	-0.011	3.52E-08	1.84E-04	1992	3.85E-07	M2
BV500	P	1.032	1.032	1.032	1.032	1.032	1.032	-	-	-	-	-	-	M0
BV510	P	1.042	0.845	0.834	0.812	0.747	0.681	0.008	-0.011	0.048	1.51E-07	1985	3.34E-03	M2
BV520	P	0.859	0.774	0.764	0.745	0.689	0.632	0.005	-0.009	0.853	2.39E-04	1992	5.65E-03	M2
BV530	P	0.995	0.881	0.872	0.853	0.799	0.745	0.004	-0.009	0.311	1.54E-04	1992	0.011	M2
BV540	P	0.892	0.694	0.682	0.657	0.583	0.510	0.003	-0.012	0.022	4.34E-06	1992	4.08E-03	M2
BV550	NP	0.980	0.663	0.649	0.623	0.544	0.464	0.000	-0.013	0.807	8.89E-05	1989	-	M2
BV560	P	0.945	0.715	0.710	0.699	0.666	0.634	-0.005	-	4.24E-04	-	-	-	M1
BV570	P	1.007	0.875	0.858	0.823	0.718	0.612	0.007	-0.018	0.977	2.84E-04	1996	2.90E-03	M2
BV600	P	0.857	0.917	0.895	0.852	0.720	0.589	0.009	-0.022	3.35E-04	1.72E-03	2003	1.27E-03	M2
BV610	P	0.957	0.962	0.944	0.910	0.806	0.702	0.006	-0.017	0.051	0.027	2003	0.045	M2
BV620	P	0.800	0.911	0.901	0.883	0.828	0.773	0.009	-0.009	4.46E-04	0.035	1998	0.011	M2
BV630	P	0.914	1.073	1.077	1.084	1.107	1.130	0.004	-	8.39E-03	-	-	-	M1
BV640	P	0.677	0.723	0.714	0.694	0.637	0.580	0.012	-0.010	8.99E-03	1.20E-03	1992	5.28E-04	M2
BV700	NP	0.798	0.543	0.530	0.505	0.430	0.354	0.001	-0.013	0.629	5.24E-03	1991	-	M2
BV710	P	0.672	0.516	0.496	0.456	0.335	0.215	0.007	-0.020	0.949	1.09E-04	1996	1.41E-03	M2
BV720	P	0.912	0.672	0.667	0.655	0.621	0.587	-0.006	-	2.79E-03	-	-	-	M1
BV730	P	0.683	0.584	0.569	0.539	0.450	0.361	0.007	-0.015	0.761	4.97E-04	1995	3.87E-03	M2

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	pvaleur pente 1	pvaleur pente 2	date de rupture	pvaleur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV740	P	0.545	0.402	0.383	0.345	0.231	0.116	0.011	-0.019	0.841	1.23E-04	1993	1.67E-03	M2
BV800	NP	0.513	0.473	0.453	0.413	0.293	0.173	0.012	-0.020	4.97E-04	2.30E-03	1996	-	M2
BV810	P	0.654	0.526	0.510	0.479	0.385	0.291	0.006	-0.016	0.858	5.50E-04	1996	6.10E-03	M2
BV820	P	0.403	0.308	0.283	0.234	0.084	-0.066	0.023	-0.025	0.027	1.56E-10	1991	1.38E-09	M2
BV830	P	0.461	0.363	0.341	0.295	0.159	0.023	0.020	-0.023	0.061	6.49E-10	1991	7.64E-09	M2
BV840	P	0.421	0.426	0.407	0.369	0.256	0.142	0.021	-0.019	9.96E-04	1.09E-08	1991	8.19E-09	M2
BV850	P	0.428	0.350	0.327	0.280	0.139	-0.002	0.020	-0.023	0.023	1.58E-09	1992	7.81E-09	M2
BV900	P	0.551	0.419	0.400	0.362	0.250	0.137	0.013	-0.019	0.579	1.37E-08	1992	6.22E-07	M2
BV910	P	0.570	0.441	0.419	0.373	0.237	0.101	0.010	-0.023	0.368	4.52E-07	1996	4.23E-06	M2
BV920	P	0.562	0.391	0.370	0.330	0.210	0.090	0.013	-0.020	0.985	1.96E-08	1991	2.2E-06	M2
BV930	P	0.650	0.471	0.449	0.404	0.271	0.137	0.008	-0.022	0.848	2.11E-05	1996	3.85E-04	M2
BV940	P	0.439	0.316	0.290	0.238	0.081	-0.076	0.023	-0.026	0.030	6.25E-13	1991	1.31E-11	M2
BV950	P	0.590	0.283	0.251	0.187	-0.004	-0.196	0.009	-0.032	0.174	6.66E-09	1996	1.02E-06	M2
BV960	P	0.431	0.313	0.280	0.214	0.015	-0.184	0.018	-0.033	5.66E-03	1.65E-11	1996	5.61E-11	M2
BV970	P	0.424	0.447	0.430	0.396	0.293	0.190	0.020	-0.017	1.41E-03	2.51E-07	1991	1.31E-07	M2
BV980	P	0.389	0.366	0.346	0.304	0.181	0.057	0.022	-0.021	1.15E-03	2.56E-10	1991	3.93E-10	M2
BV990	P	0.408	0.389	0.369	0.328	0.207	0.085	0.021	-0.020	2.50E-03	3.38E-09	1991	4.9E-09	M2

**ANNEXE 6 –
TABLEAU DE RÉSULTATS POUR LES SÉRIES MODÉLISÉES
(NAPPE DE BASE)**

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV100	NP	0.902	0.973	0.969	0.962	0.940	0.918	0.004	-0.004	0.032	0.412	1999	-	M2
BV120	P	0.624	0.921	0.892	0.832	0.654	0.476	0.020	-0.030	2.64E-17	2.05E-08	2002	4.61E-11	M2
BV140	P	0.718	0.725	0.695	0.634	0.452	0.270	0.010	-0.030	3.04E-03	5.85E-04	2003	6.89E-04	M2
BV370	P	0.401	0.984	0.970	0.942	0.859	0.775	0.029	-0.014	6.21E-27	6.04E-07	1998	2.44E-15	M2
BV380	P	0.464	0.968	0.956	0.933	0.863	0.793	0.028	-0.012	2.37E-22	1.05E-05	1996	2.56E-13	M2
BV400	P	0.331	0.744	0.711	0.645	0.448	0.250	0.036	-0.033	3.39E-14	3.93E-08	1997	1.83E-11	M2
BV410	P	0.482	0.893	0.851	0.766	0.513	0.260	0.036	-0.042	1.7E-11	1.52E-06	1999	8.67E-09	M2
BV430	P	0.380	0.908	0.893	0.864	0.775	0.687	0.028	-0.015	3.3E-23	2.96E-06	1998	3.89E-13	M2
BV440	P	0.377	0.808	0.788	0.747	0.623	0.499	0.029	-0.021	8.84E-20	1.02E-08	1997	7.58E-14	M2
BV450	P	0.318	1.241	1.233	1.219	1.175	1.131	0.035	-0.007	7.79E-30	0.034	2000	2.01E-11	M2
BV460	P	0.359	0.861	0.840	0.798	0.674	0.549	0.032	-0.021	4.36E-18	1.29E-06	1997	1.17E-11	M2
BV470	P	0.380	0.793	0.779	0.751	0.667	0.584	0.031	-0.014	1.13E-11	3.50E-04	1993	3.53E-08	M2
BV700	P	0.418	1.061	1.064	1.072	1.095	1.117	0.058	0.004	2.3E-11	0.046	1980	1.46E-05	M2
BV710	P	0.358	1.323	1.323	1.324	1.325	1.327	0.032	0.000	4.08E-28	0.955	2001	9.22E-07	M2
BV720	P	0.566	0.936	0.936	0.937	0.938	0.939	0.040	0.000	4.71E-09	0.864	1980	1.76E-05	M2
BV730	P	0.441	1.217	1.209	1.193	1.146	1.098	0.032	-0.008	7.95E-21	0.090	1999	4.86E-07	M2
BV740	NP	0.632	0.727	0.688	0.610	0.375	0.140	0.028	-0.039	4.29E-03	1.89E-03	1997	-	M2
BV800	P	0.377	1.257	1.235	1.193	1.064	0.936	0.034	-0.021	1.38E-25	1.05E-03	2003	9.85E-09	M2
BV810	NP	0.413	1.066	1.050	1.016	0.916	0.816	0.030	-0.017	1.41E-12	1.86E-03	2000	-	M2
BV820	P	0.244	0.755	0.730	0.681	0.533	0.386	0.033	-0.025	3.23E-23	3.32E-10	1998	5.55E-16	M2
BV830	NP	0.220	0.983	0.958	0.908	0.758	0.608	0.038	-0.025	8.41E-13	9.86E-04	2000	-	M2
BV850	P	0.221	1.048	1.025	0.978	0.837	0.697	0.039	-0.023	1.92E-31	2.44E-09	2000	0	M2
BV900	P	0.253	1.281	1.265	1.234	1.140	1.046	0.041	-0.016	5.06E-33	6.62E-05	2001	8.77E-15	M2
BV910	P	0.324	1.253	1.247	1.236	1.202	1.168	0.035	-0.006	3.15E-33	0.036	2000	9.13E-14	M2

code ouvrage	Param / Non Param	intercept date min	intercept date max	estimation 2013	estimation 2015	estimation 2021	estimation 2027	pente 1	pente 2	p valeur pente 1	p valeur pente 2	date de rupture	p valeur M2 vs. M1	Modèle sélectionné
BV920	P	0.377	0.819	0.804	0.776	0.691	0.605	2.73E-02	-1.42E-02	5.82E-21	4.29E-07	1996	1.2E-13	M2
BV930	P	0.439	0.646	0.633	0.606	0.526	0.446	2.16E-02	-1.34E-02	1.39E-16	3.36E-11	1993	1.55E-15	M2
BV980	P	0.232	0.708	0.688	0.647	0.526	0.405	3.49E-02	-2.02E-02	9.97E-22	2.43E-10	1995	1.11E-16	M2
BV990	P	0.355	0.727	0.702	0.650	0.496	0.342	3.02E-02	-2.57E-02	3.30E-19	6.09E-11	1997	2.22E-15	M2

