



30 ans

16^e Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE



Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne

Laurence Loyon, Thierry Bioteau , *Inrae, Unité Opaale, Rennes*

David Causeur, Magalie Houée-Bigot, Marie-Pierre Etienne
IRMAR UMR CNRS 6625, Institut Agro Rennes-Angers, Rennes



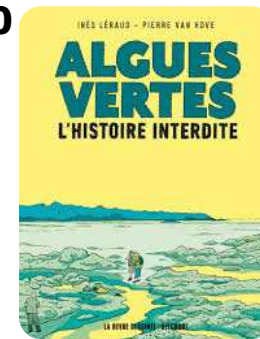
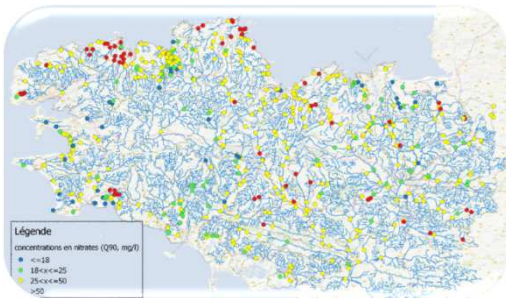
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Contexte de l'étude

- Bretagne: une des 1^{ières} régions de production bovine, porcine, et avicole
- Excès d'azote agricole en Bretagne : surface d'épandage inappropriée/ production d'azote animale + fertilisation minérale
- Fortes teneurs en nitrates (NO_3^-) dans les eaux de surface et souterraines et fortes émissions de NH_3
- Fermeture de station de prélèvement d'eaux destinées à la consommation humaine (contentieux européen) + eutrophisation masses d'eau + prolifération d'algues vertes sur les côtes bretonnes
- **Sujet particulièrement sensible en Bretagne depuis plus de 30**



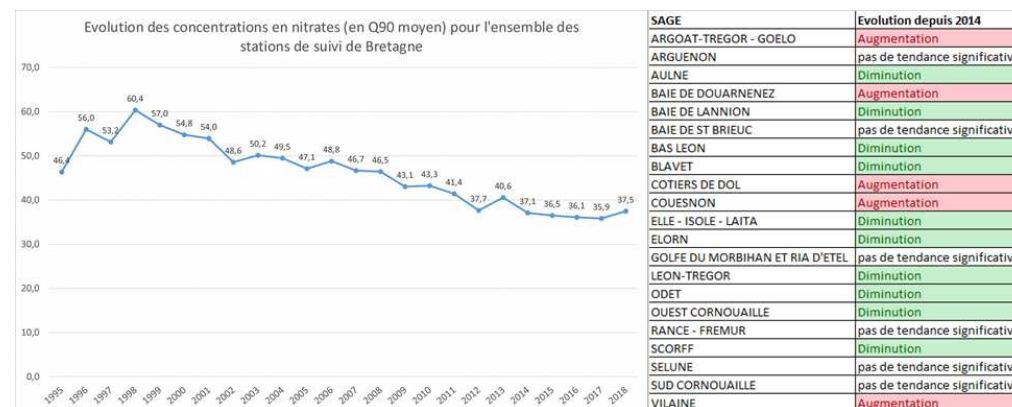
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Contexte de l'étude

- Région Bretagne « zone vulnérable » Nitrates depuis 1994 (Directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991)
- 4 programmes d'actions départementaux + 2 programmes d'actions régionaux
- Diminution instable des teneurs en NO_3^- des eaux de surface



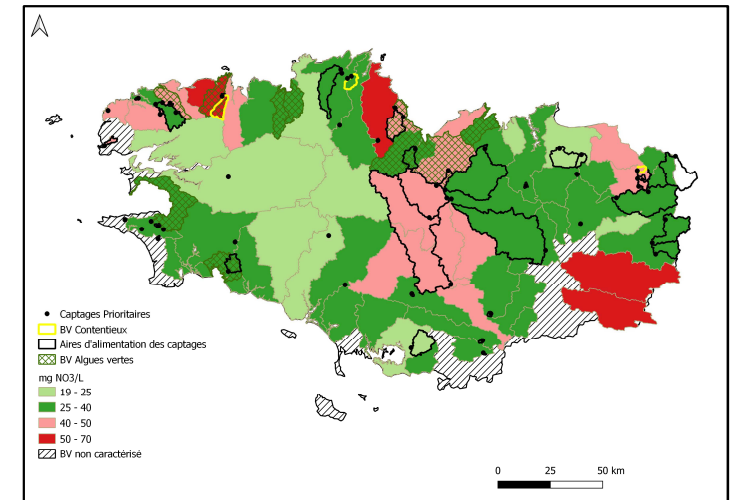
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Contexte de l'étude

- Bassins versants à enjeux de territoire Nitrates identifiés par les services de l'Etat bretons
 - BV avec concentration en nitrates supérieure à 50 mg/l,
 - BV Contentieux européen (station eau consommation)
 - BV Baies Algues Vertes
 - BV avec Captages prioritaires à enjeu nitrates



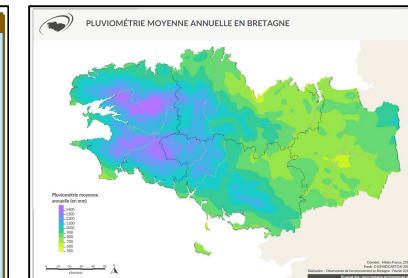
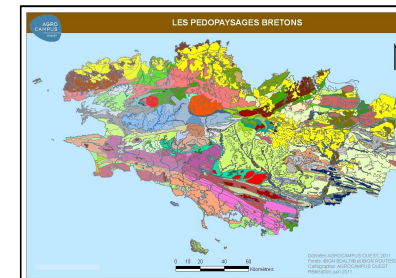
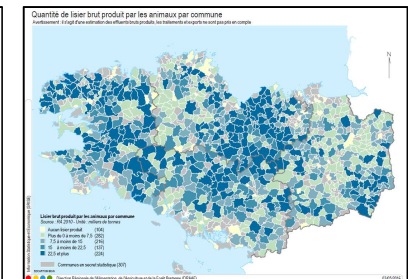
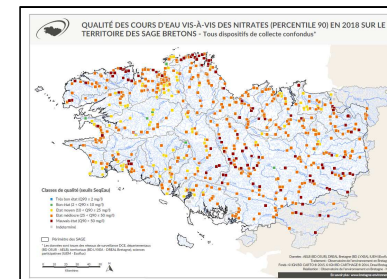
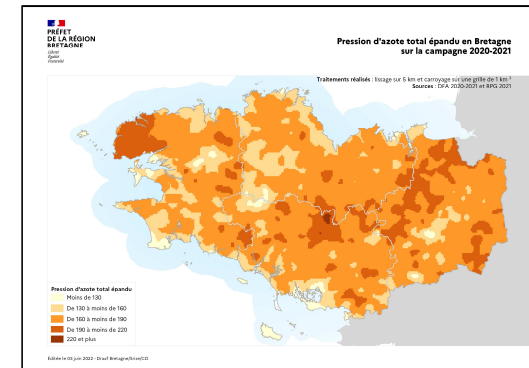
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Genèse de l'étude

- **Différents constats**
- Mise en œuvre compartimentée des politiques publiques (Eau/Air/Sol/Climat)
- Multiples données utiles à l'évaluation des différentes politiques publiques (Eau/Air/Sol/Climat)
- Réponses différentes selon le territoire aux mesures réglementaires régionales
- **Question**
- Peut-on statistiquement différencier les territoires et cibler des mesures additionnelles pour réduire les teneurs en NO_3^- en fonction des pressions diagnostiquées



Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Méthodologie

- **Mobilisation des données & connaissances générées par la recherche et les organismes gouvernementaux**
- **Analyses statistiques des données de 66 territoires (BV)***
 - **Evolution des teneurs en nitrates des eaux superficielles depuis 2000 (données OEB)**
 - **Pressions azotées et pratiques culturales**
 - **Facteurs de risques de pertes et de transfert d'azote**
 - 140 facteurs déclinés pour certains par classes de valeurs et/ou d'année (1168 valeurs)
- (*) Bassins versants de l'enquête régionale Draaf Bretagne 2018 sur les pratiques agricoles



Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Méthodologie

- **Extraction de groupes de BV homogènes selon concentrations médianes (q50)* en nitrates depuis 1995 (Données OEB)**
 - Imputation des données manquantes
 - ACP des données (pour réduire le nombre de données)
 - Classification hiérarchique ascendante (CHA) sur les composantes de l'ACP
 - Modèle de régression non-paramétrique pour décrire l'évolution du q50 depuis 2000 pour chaque groupe issu de la CHA
- **(*) concentrations médianes (q50) trimestrielles** calculées pour s'affranchir de l'hétérogénéité de la couverture spatiale et temporelle des 66 bassins versants

Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Méthodologie

- **Identification d'indicateurs explicatifs de l'évolution des concentrations NO_3 des 66 BV depuis 1995**
- **Existe-t-il une différence significative entre les BV pour les indicateurs retenus ?**
- **Ex: La pression azotée est-elle similaire quel que soit le groupe d'évolution NO_3 ?**
- Analyse univariée (Anova à 1 facteur) entre chaque indicateur explicatif et les groupes de BV identifiés (définition p-value et d'un R^2)
- Caractéristiques moyennes des 66 BV et des groupes de BV identifiés

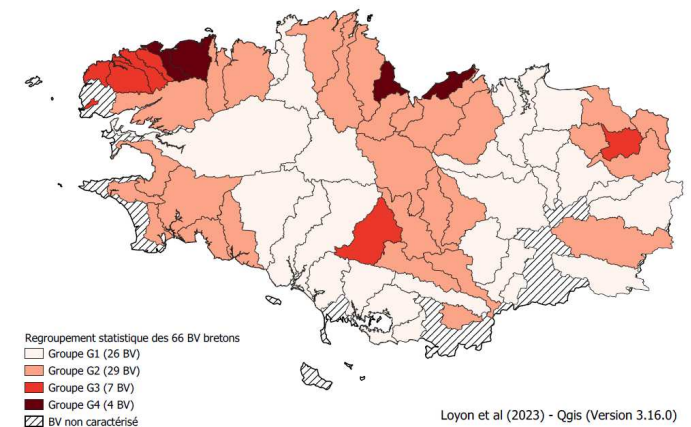
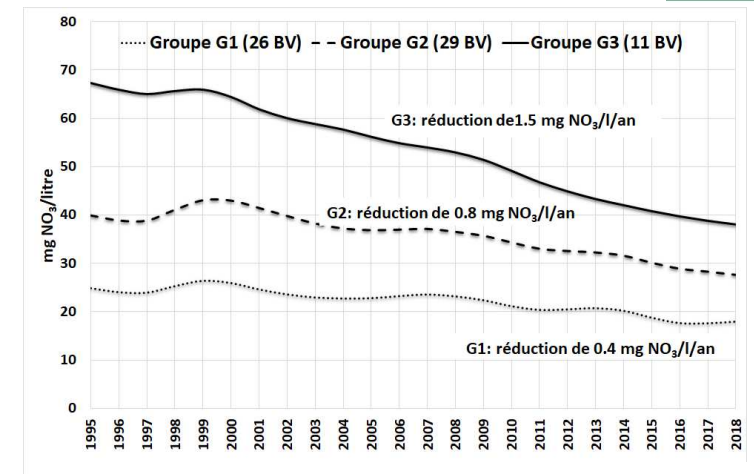
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

- **Extraction de groupes de BV homogènes en évolution des concentrations médianes (q50)* en nitrates depuis 1995 et évolution depuis 2000 (Données OEB)**
- **3 groupes de BV**
 - **G1: -0.4 mg NO₃/l/an pour 26 BV** (q50*: 31.7 mg NO₃/l)
 - **G2: -0.8 mg NO₃ /l/an pour 29 BV** (q50: 47.3 mg NO₃/l)
 - **G3: -1.5 mg NO₃/l/an pour 7 BV** (q50: 66.6 mg NO₃/l)
 - **G4: -1.5 mg NO₃/l/an pour 4 BV avec des valeurs extrêmes et ponctuelles en nitrates**



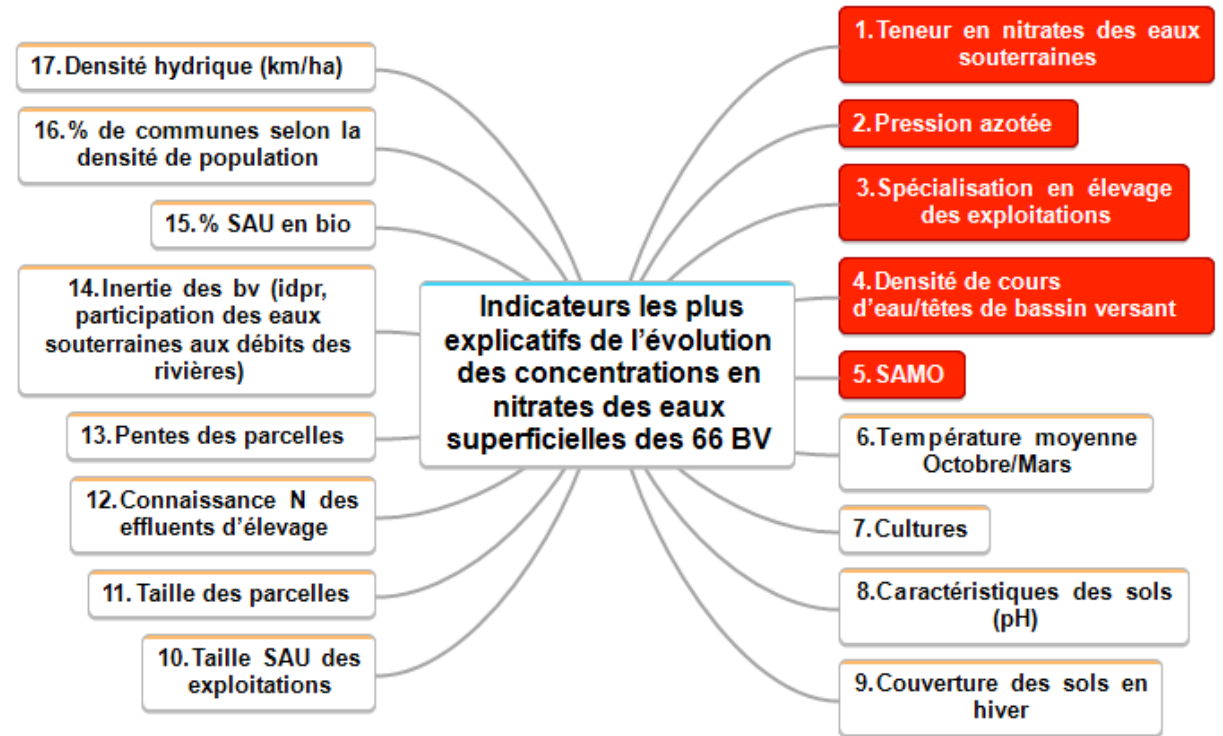
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

- **Facteurs décrivant le mieux ce regroupement de BV**
 - **224 facteurs (sur 1128) statistiquement différents entre groupe de BV ($p < 0.05$)**
 - **105 liés à la pression azotée**



Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Résultats & Discussions

➤ Facteurs différenciant chaque groupe de BV de l'ensemble des BV

- Exemple du groupe G1:
26 BV et (-0.4 mg NO₃/l/an; q50: 31.7 mg NO₃/l)

26 BV -0.4 mg NO ₃ /l/an q50*: 31.7 mg NO ₃ /l		
Indicateur	Moyenne du groupe > moyenne 66 BV	Moyenne du groupe < moyenne 66 BV
Pression N	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pression N_{min.} en 2011 et 2018 ▪ N fumier et lisier bovin (kg N/ha) ▪ Nbov. de VL < 6000L ▪ N (step,...) ▪ Quantité de fumier stocké au champ ▪ Porg2011_2018 ▪ Pt2011_2018 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Production de N_{org.} (2011 et 2018) ▪ Surplus en 2011 ▪ N_{org.} et Nt en 2011 ▪ Dépôt de NH₃ (kgN/ha) ▪ Charge bovine (kg Nbov/ha) ▪ N lisier porcin ▪ Pression N_{org.} + (redépot. NH₃ + N stockage au champ) ▪ % N_{bov} produit par VL < 4 mois pâturage
Pratiques culturales & fertilisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ %SAU de Nt et Norg. < 100 kg N/ha ▪ % SAU de taille ≤ 0.5 et [10 ;100] ha ▪ % SAU avec « Prairies temporaires », « cultures diverses » (2018 et sur 3 ans), « Divers », « Autres céréales », « Blé tendre », « Protéagineux », « Fourrage », « Verger » ▪ Surfaces en MAEC (SPM, SPE, Bio) ▪ % Prairies temporaires recevant N minéral ▪ % sols couverts par une dérobée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ %SAU_avec[130-170] kgNanimal_ha_SAU ▪ %SAU_avec[150-190]kgNtotal_ha_SAU ▪ % Orge recevant N minéral ▪ % SAU [1-5].ha ▪ RPG_2015_%_SAU_Légumes.ou.fleurs25 ▪ RPG_2015_%_SAU_Mais.grain.et.ensilage2 ▪ RPG_2015_%_SAU_Orge3 ▪ % SAU Maïs grain et ensilage ▪ % SAU Orge ▪ % SAMO « Céréales Pailles », « Maïs », « Prairies » et SAU en 2011 ▪ % Exploitations connaissant teneur fumier bovin ou lisier porcin épandu par analyse ▪ Exploitations qui connaissent la teneur des fumiers produits par analyse en 2011 ▪ Exploitations qui connaissent la teneur des lisiers de bovins produits par analyse en 2011 ▪ 2011Couv_Hiver_5
Types Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ % Exploitations avec Nt et N_{org.} < à 100 kg N/ha ▪ % Exploitation Mono Elevage VL et VA ▪ % Exploitation bovine à faible capacité accueil N_{org.} ▪ % Exploitation à forte capacité accueil N_{org.} ▪ % Exploitation avec SAU de surface[90-500] ha 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ % exploitation de pression N_{org.} [140 -170] kg et 0 kg Nt/ha ▪ % exploitation Mono élevage porc ▪ % Exploitation porcines en excédent structurel Norg, ▪ % exploitation avec diagnostic environnemental ▪ % exploitation avec SAU ≤5 ha et [20 -60] ha
Hydrologie et pédologie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ % IDPR infiltration [0-200] ▪ Débit instantané eaux souterraines ▪ Acidité des sols (+) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inertie des eaux souterraines ▪ Participation eaux souterraines ▪ NO3 eaux souterraines 1995/2005 ▪ % rang Strahler 1 et 2 (Têtes de BV) ▪ IDPR [800-1200] ▪ Phosphore des sols
Climat		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Températures Octobre/Mars ▪ Précipitations Octobre/Mars 2011_2012 ▪ Précipitations 2016

Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

➤ **Principaux facteurs agricoles différenciant chaque groupe de BV de l'ensemble des BV**

Groupe		Facteurs statistiquement différents (p<0.05)
①	26 BV	<u>Production laitière</u> (production<6000L, temps pâturage > 4 mois, N bovin, Stockage au champ fumier, faible charge bovine) <u>Plus faible pression N</u> (Nt, redéposition NH ₃), Mesures Agro-environnementales (++)
②	29 BV	<u>Production avicole</u> (N fumier, N sur parcours)
③	7 BV	<u>Plus forte pression N</u> (Nt, redéposition NH ₃ + N perdu stockage champ,% exploitation>170 kg N/ha, N pâturage, N lisier porc, N charge bovine; temps pâturage < 4 mois), Mesures Agro-environnementales (--)
④	4 BV	<u>Production porcine</u> (plus exploitations spécialisées, N lisier porc; % exploitations>170 kg n/ha) <u>Production laitière</u> (production>8000L; temps pâturage < 4 mois, N charge bovine) Pression N (plus fort % SAU avec [150-160] kg N/ha) <u>Cultures légumières, faible % prairies dans rotation culturale</u>

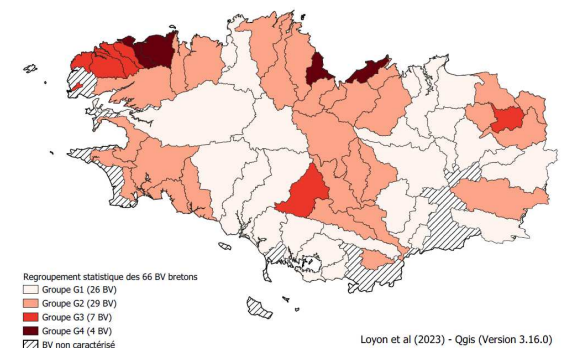
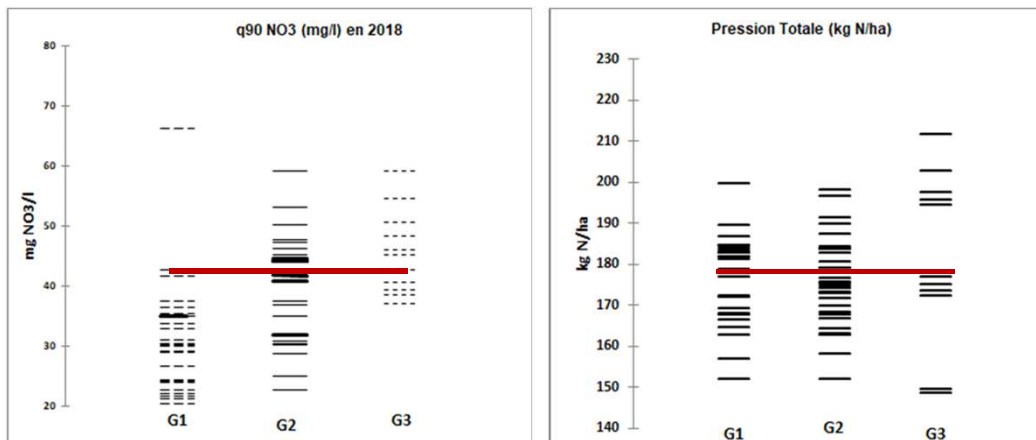
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Résultats & Discussions

➤ Principaux facteurs agricoles différenciant chaque groupe de BV de l'ensemble des BV

- Groupes G1 et G3 (G4 inclus) différents essentiellement par le type et le niveau d'intensité de production animale
- Groupe G2 : mixte entre ces deux groupes
- Variabilité intra-groupe (⇒ valeurs similaires en NO_3 et pour facteurs explicatifs pour BV de groupes différents)



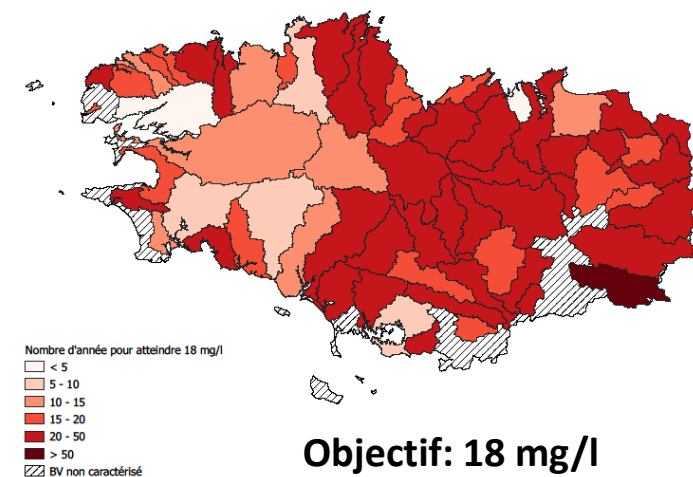
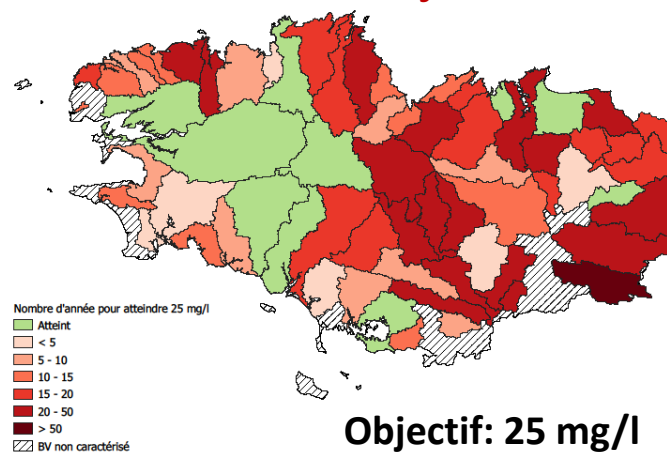
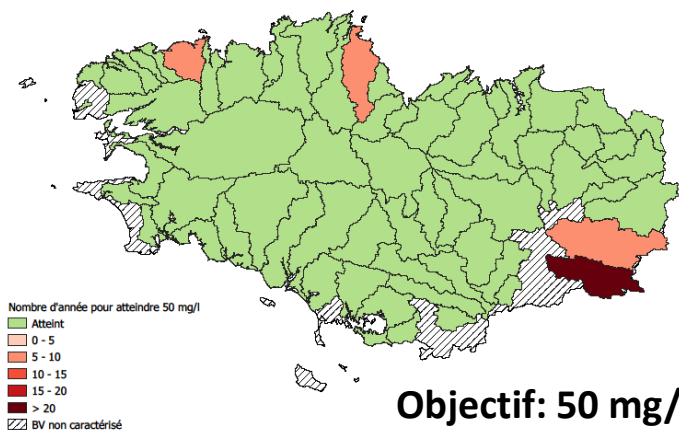
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

➤ Nombre d'années pour atteindre les objectifs fixés par les service de l'Etat dans territoires à enjeu



Nb années	< 5 ans	5-10 ans	10-15 ans	> 15 ans
Objectif 18 mg/l	2	4	7	53
Objectif 25 mg/l	16	9	11	30
Objectif < 50 mg/l	62	3	0	1

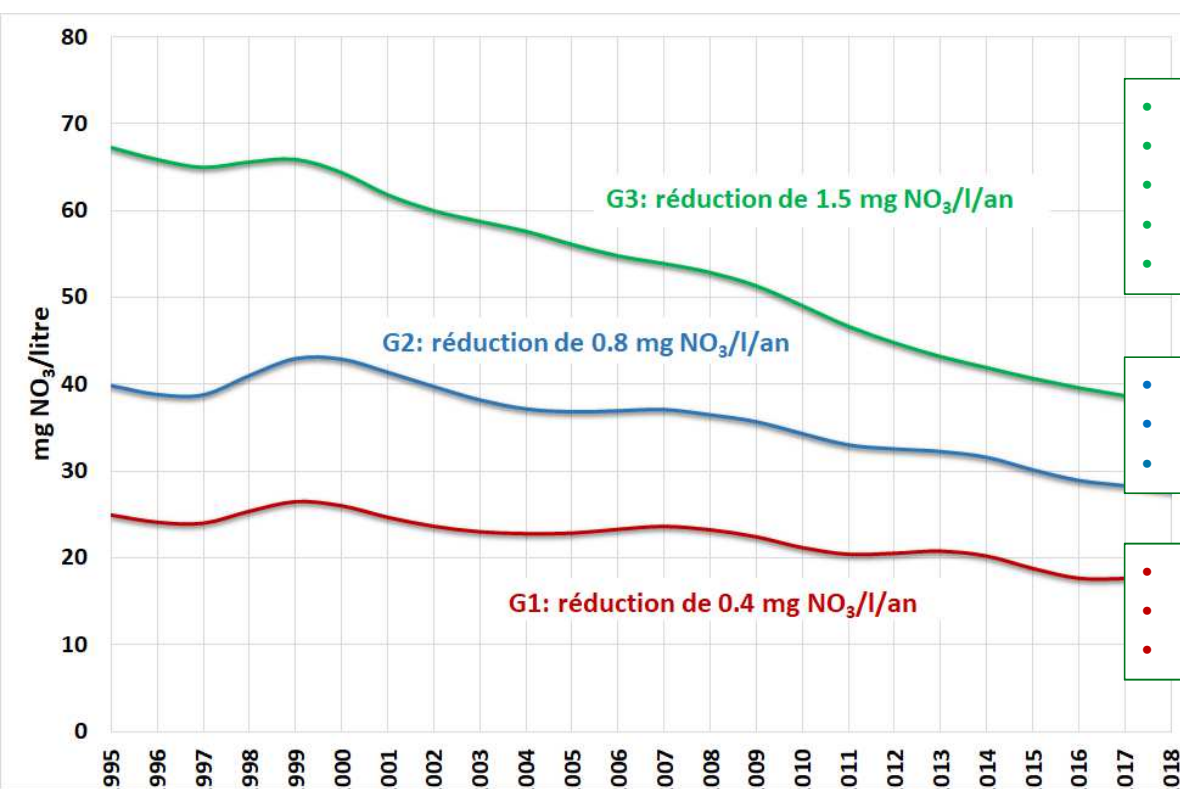
Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

➤ Identification de pratiques agricoles territorialisées



- Réduction de la pression N animal des exploitations >160 kg N/ha
- Réduction de la pression N minéral des exploitations >210 kg Nt/ha
- Résorption du N des exploitations laitières >170 kg N/ha
- Réduction ou meilleure gestion du stockage au champ
- Réduction de la charge bovine

- Gestion du N produit sur parcours des volailles
- Compostage des fumiers de volailles avant épandage
- Réduction ou meilleure gestion du stockage au champ

- Réduction de la pression N minéral
- Réduction ou meilleure gestion du stockage au champ
- Compostage des fumiers bovins avant épandage

Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



comifer Gemas

Résultats & Discussions

➤ Identification de pratiques agricoles territorialisées

➤ BV « X » : q90 NO₃ > 50 mg/l en 2019 Groupe G1 -0.4 mg/l/an

Objectif	18 mg/l	25 mg/l	<50 mg/l
Nombre années	116	99	40

■ Mesures issues de l'analyse statistique des groupes de BV

- Réduction de la pression N minéral
- Réduction ou meilleure gestion du stockage au champ
- Compostage des fumiers bovins avant épandage

■ Mesures issues des caractéristiques du BV

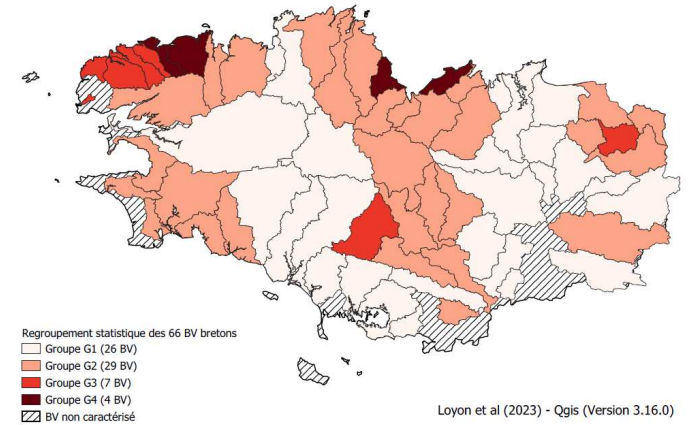
- Augmenter le % ZAR (7.5% en 2018)
- Réduire la pression azotée N des exploitations Nt>210 kg N/ha
- Résorber N exploitations bovines et avicoles en excédent structurel
- Réduction souhaitable du JPP
- ...

Pression N total (kg N/ha)	184,8
% N animal produit par les bovins	78,9
% N animal produit par les porcs	14,7
% N animal produit par les volailles	5,4
Jours Presence paturage (JPP)	526
Stockage de fumier au champ (kg/ha SAU)	1 896
Chargement bovin (Kg N _{bov} /ha SFP)	153,6
% SAU avec Pression Nt total > 210 kg N par ha SAU	34,4
% Exploitations avec Pression SAU >210 kgNt/ha	26,6
% Exploitations avec Pression Norg >170	0,3
Résorption (kg N/ha)	0,0
% Exploitations bovines en excédent structurel d'azote organique	17,5
% Exploitations porcines en excédent structurel d'azote organique	6,4
% Exploitations avicoles en excédent structurel d'azote organique	4,1
% Exploitations utilisant des OAD pour piloter la fertilisation	26,0
% Exploitations connaissant N fumiers de bovins	25,8
% Exploitations connaissant N lisier bovin	28,6
% Exploitations connaissant N lisier de porcs	72,2
SAMO sur SAU	53,6
SAMO sur maïs	93,3
SAMO sur prairies	52,0
SAMO sur céréales à paille	21,4
% Exploitations utilisant OAD Fertilisation	26,0
% Exploitations avec diagnostic environnemental	13,2

Identification de pratiques agricoles des concentrations en nitrates des ea



comifer Gemas



Résultats & Discussions

□ Groupe G3 (7 BV)

- Plus forte concentration en NO_3
 - pression N et surplus N historique supérieurs
 - ✓ Surplus > 60 kg/ha contre 32.1 kg N/ha pour le groupe G1, en 2000
- Impact du type et du niveau de la production animale (bovins/granivores) ainsi que de la pression en azote minéral sur NO_3
- Plus forte réduction des concentrations en NO_3
 - Mesures ZES/ZAR plus contraignantes (G3: 93 % SAU contre 72.3% en G2 et 38% en G1)
 - PMPOA (1994/2000) bénéficiant aux élevages de porcs
 - ✓ 40,7% du N animal produit par les porcs en G3 contre 17,2 % en G1 et 26,6% en G2
- Impact des mesures règlementaires/incitatives la réduction des teneurs en NO_3

Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Résultats & Discussions

➤ Effet des mesures identifiées

Mise en œuvre de ces mesures

Mesures obligatoires : pas forcément appliquées malgré contrôles et sanctions

Mesures incitatives : limites déjà identifiées par les services de l'état

Effet des mesures sur NO₃ à la hauteur des objectifs fixés?

Temps de réponse à une même mesure impacté par

- NO₃ eaux souterraines contrôlant NO₃ eaux de surface (*Aquilina et al, 2012*)
- « Héritage d'azote » (Nsol + NO₃ eaux souterraines ; *Dupas et al., 2020*)

↪ **Réponses à des scénarii actuels contrôlées pendant 15 ans par entrées N passées** (*Vautier et al., 2021*)

↪ **Modélisation nécessaire pour chaque territoire ou groupe de territoires** (*Durand et al, 2014*)

Aquilina et al (2012). Nitrate dynamics in agricultural catchments deduced from groundwater dating and long-term nitrate monitoring in surface- and groundwaters. Science of The Total Environment 435-436, 167-178.

Durand et al (2014). Modélisation agro-hydrologique des bassins versants à algues vertes. 584p

Dupas et al (2020). Long-term nitrogen retention and transit time distribution in agricultural catchments in western France. Environmental Research Letters 15. 115011

Vautier et al (2021). What do we need to predict groundwater nitrate recovery trajectories? Science of The Total Environment 788, 147661.

Identification de pratiques agricoles territorialisées pour réduire les concentrations en nitrates des eaux de surface en Bretagne



Conclusion

- **Analyses statistiques utiles pour identifier des mesures territorialisées**
- **Insuffisantes pour évaluer la réduction NO₃ (phénomène multi facteurs, inertie des BV, historique azoté,...)**
 - ↳ **Modélisation nécessaire pour estimer l'effet des mesures supplémentaires**
- **Approche statistique exploratoire avec biais liés à l'échelle du BV choisie**
 - **Lissage des pressions (pressions azotées et culturales uniformément réparties)**
 - **Géo-référencement des stations de mesures des eaux de surface et souterraines par bassin versant**
 - **Données du BRGM relatives à inertie des bassins versants,...**