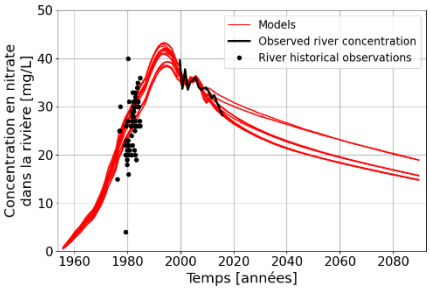
MORAQUI : Modélisation de la réactivité des aquifères dans les bassins versants

Agir contre les algues vertes en Bretagne

Synthèse des résultats

Février 2021

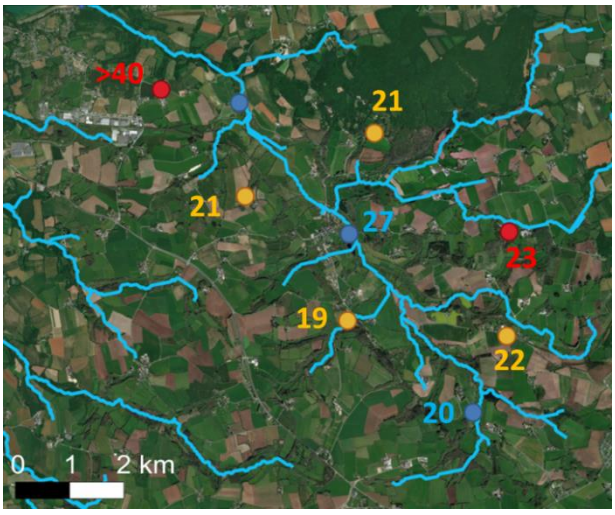


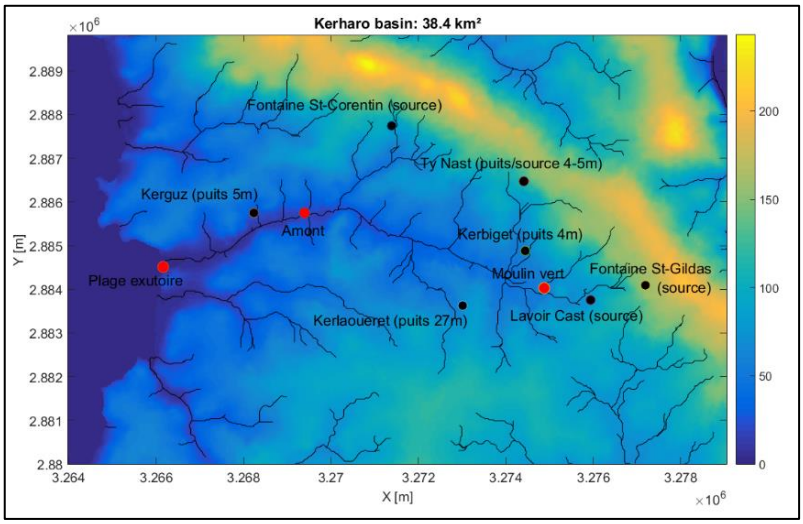
Le projet Moraqui a débuté en Octobre 2018. Il vise à comprendre comment se construit l'héritage nitrate au sein des bassins versants afin de prédire l'impact des changements de pratiques sur l'évolution des concentrations dans la rivière.

La démarche menée consiste d'une part à compléter les données existantes (débits, concentrations en nitrate) par la mesure du temps de résidence de l'eau dans le milieu souterrain. D'autre part, une nouvelle manière de modéliser a permis d'explorer le fonctionnement hydrologique du bassin versant et de quantifier le lien entre les intrants sur les parcelles, leur parcours dans la nappe et les concentrations dans la rivière.

Deux campagnes d'échantillonnage en mars et en octobre 2019 ont été menées sur trois bassins versants : Ris et Kerharo (Baie de Douarnenez) et Douron (Baie de Morlaix).

Les points ont été prélevés sur des puits ou des forages plus profonds (points noirs) et sur les rivières (points rouges). Les couleurs du bleu au jaune représentent les altitudes





Moraqui a mis en œuvre une méthode développée au sein de l'Université Rennes1 et basée sur l'analyse des gaz dissous dans l'eau (CFC) pour dater les eaux : l'estimation du temps de résidence des eaux souterraines (âge), c'est-à-dire le temps de circulation de l'eau entre l'infiltration dans le sous-sol et le point de prélèvement (puits) ou la résurgence dans une source ou la rivière.

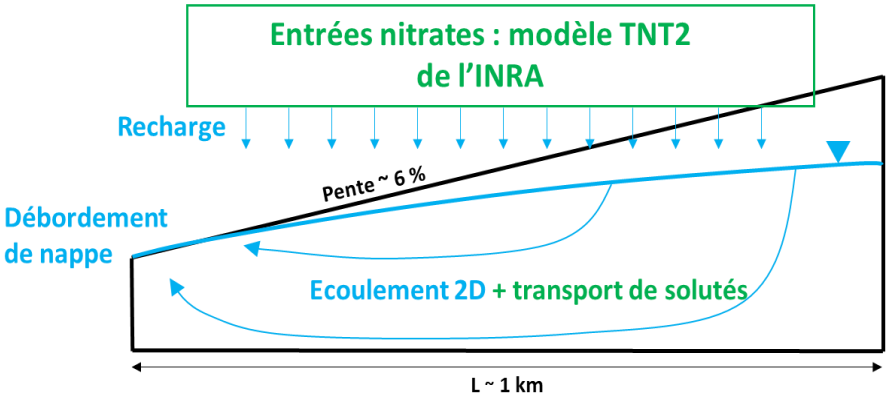
Ces âges sont reportés sur la carte en orange pour les sources et les puits et en rouge pour les forages plus profonds. **Cet âge augmente avec la profondeur**. Les temps mesurés dans les rivières (points bleus) sont proches de ceux mesurés dans les eaux souterraines ce qui montre **une part importante des eaux souterraines dans l'alimentation de la rivière**.

Université de Rennes 1 – INRAE – cnrs – Terre, Écosystèmes et Sociétés – Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes – epab Établissement public de gestion et d'aménagement de la baie de Douarnenez – Morlaix communauté – Creseb – Région Bretagne

La démarche de modélisation

Avec les moyens numériques actuels et les outils développés à l'Université, nous avons réalisé un modèle en deux dimensions, simple mais réaliste afin de tester un très grand nombre de paramètres.

Figure : Représentation du modèle de bassin versant et de milieu souterrain développé pour simuler les flux d'eau souterraine, ainsi que leurs concentrations associées en nitrate (données de sortie du modèle INRAE TNT2). La ligne bleue représente le niveau de la nappe (toit) qui fluctue au fil des saisons. Lorsque celui-ci affleure au niveau du sol, suite à l'infiltration des eaux de pluies en hiver, la nappe déborde et alimente directement la rivière.



Plus de 10,000 combinaisons de caractéristiques ont été utilisées sur chaque bassin pour déterminer les propriétés du milieu -perméabilité [capacité à laisser s'écouler l'eau], porosité, épaisseur du bassin et taux de dénitrification - qui permettent de reproduire à la fois les temps de résidence calculés à partir des concentrations CFC, les débits des rivières et l'évolution des concentrations en nitrate observées.

Résultat majeur n°1 : proportions et temps de résidence des 3 niveaux de circulation souterraine au sein du bassin-versant

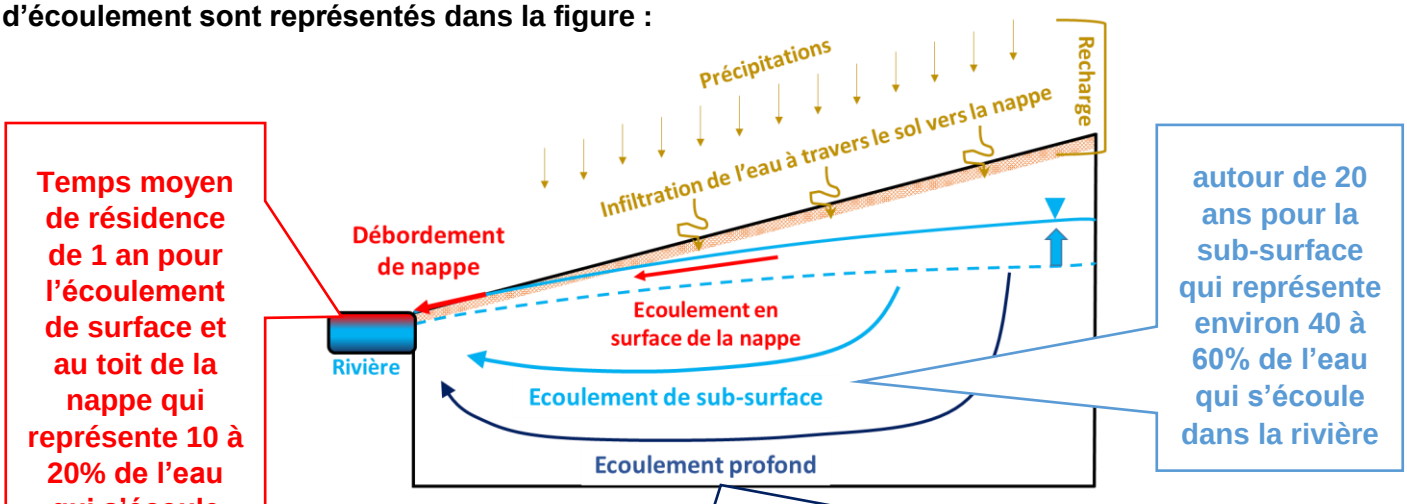
Chacun des trois niveaux de circulation de l'eau dans le milieu souterrain constitue une partie de l'eau qui s'écoule durant toute l'année dans la rivière.

(1) En surface, durant les hautes eaux, le niveau de la nappe remonte et vient saturer le sol en bas du versant. Cette partie saturée génère des écoulements rapides auxquels s'ajoutent les écoulements dans la partie de la nappe très proche de la surface qui sont eux aussi très rapides (en rouge).

(2) Une fois dans la nappe, les nitrates s'écoulent vers la rivière au sein de la sub-surface, c'est-à-dire la nappe des 10 à 20 premiers mètres (en bleu clair).

(3) Une partie va s'écouler plus profondément, entre 20 et 100m environ, et former des boucles qui rejoignent également la rivière (en bleu foncé). Ces boucles plus profondes ont des temps de résidence plus importants.

La proportion de ces contributions (%) et le temps de résidence moyen de chaque niveau d'écoulement sont représentés dans la figure :



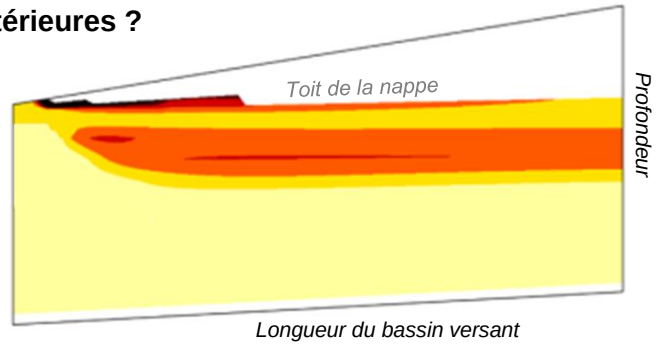
Temps moyen de résidence de 1 an pour l'écoulement de surface et au toit de la nappe qui représente 10 à 20% de l'eau qui s'écoule dans la rivière

autour de 20 ans pour la sub-surface qui représente environ 40 à 60% de l'eau qui s'écoule dans la rivière

de 20 ans à plus de 100 ans pour la partie profonde qui correspond à environ 20 à 30% de l'eau de la rivière

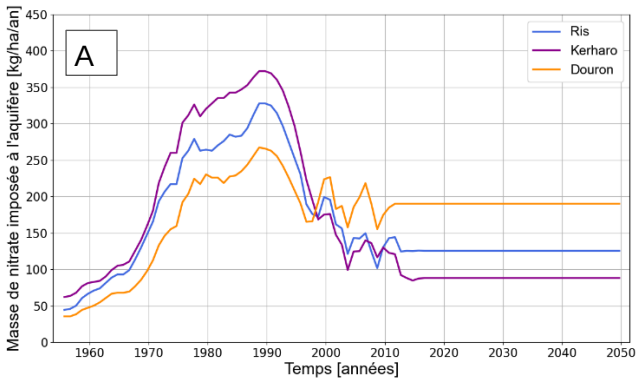
Comment s'est constitué l'héritage des pratiques antérieures ?

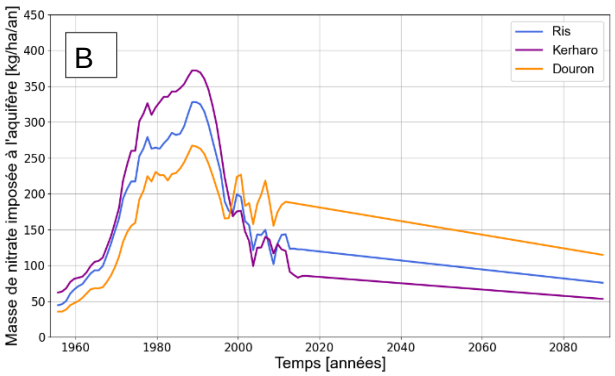
Sur cette coupe du bassin versant, les couleurs représentent les concentrations en nitrate : du jaune, avec très peu de nitrates vers les rouges sombres avec plus de 100mg/L. Le orange correspond au pic des apports de nitrate des années 80 et 90 qui a fui vers la nappe et peu à peu constitué un réservoir qui contribue à la rivière. Au cours du temps, ce réservoir s'enfonce et sa contribution à la rivière diminue.



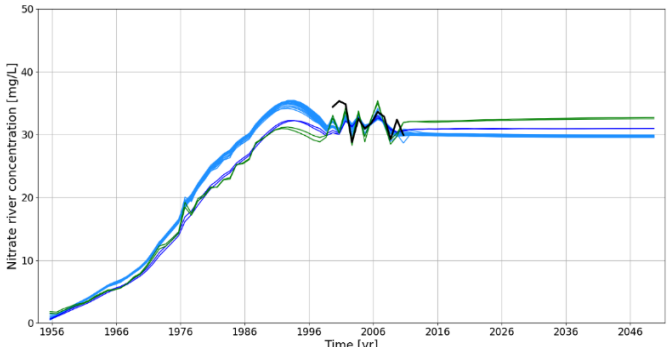
Les modèles pour simuler les scénarios du futur :

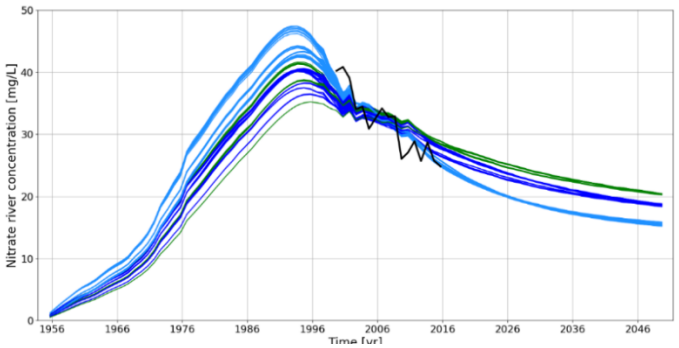
On a testé deux hypothèses sur un ensemble de modèles validés, c'est-à-dire utilisant une combinaison de paramètres qui donne des résultats proches des observations : A) le maintien des concentrations en entrée de la nappe à un niveau constant à partir de 2015 ; B) la poursuite d'une décroissance progressive.

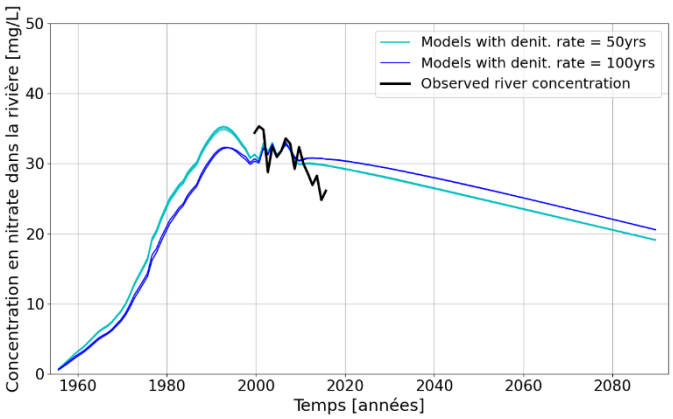


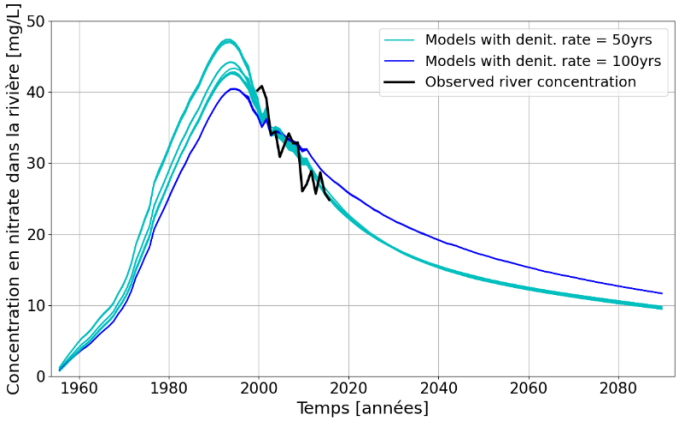


Ci-dessous les résultats pour deux bassins versants (Douron à gauche et Kerharo à droite)









Si l'on maintient les apports à la nappe constants (scénario A), on observe une diminution progressive des concentrations dans la rivière, au fur et à mesure que l'on s'éloigne dans le temps du pic des années 80-90 et que son importance dans la contribution de la nappe à la rivière diminue. Cette diminution est d'autant plus marquée que le pic des années 80-90 a été important. Les différentes couleurs correspondent à des familles de modèles avec des vitesses de dénitrification différentes.

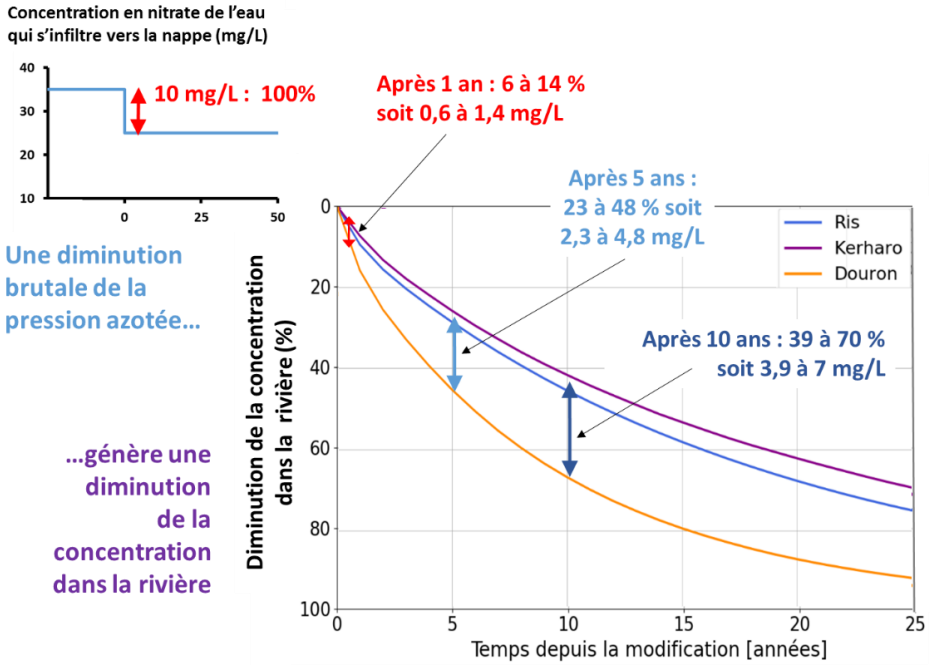
Résultat majeur n°2 : quantifier l'impact d'un changement des pratiques

Les concentrations dans la rivière résultent donc à la fois des chemins de surface et sub-surface de la nappe qui reflètent les pratiques récentes et les efforts engagés mais aussi des pratiques plus anciennes "enregistrées" plus en profondeur et qui influencent encore aujourd'hui les concentrations. Ces dernières influencent encore aujourd'hui les concentrations du fait des apports de nitrate importants à ces périodes. Nous avons pu quantifier ce double effet.

Considérons un changement des pratiques qui mène à une diminution de la concentration en nitrate de l'eau qui s'infiltre (ici 10mg/L qui représentent 100% en bas de la figure).

Si l'on mesure la variation de concentration dans la rivière que génère cette modification, voici ce qu'on va obtenir :

Au bout d'une année après le transfert de la modification des pratiques vers la nappe, 6 à 14% de la modification s'est traduite dans la concentration de la rivière, selon les bassins versants étudiés.



Au bout de 5 ans, la répercussion sur la rivière est de 23 à 48%. **Au bout de 10 ans**, elle représente 49 à 70% de la diminution de concentration dans l'eau d'infiltration.

En conclusion : Le temps pour observer une première réponse est de quelques années, le temps pour voir la moitié de l'effet d'un changement de pratique est de 5 à 20 ans selon les bassins étudiés alors que le temps de retour à un nouvel équilibre est supérieur à 50 ans.

Les résultats du projet sont donc encourageants. Ils montrent que, bien que nous dépendions de l'héritage des années passées, nos actions aujourd'hui se traduisent rapidement dans la rivière. La modélisation nous montre aussi que pour continuer à regagner la qualité des eaux de nos rivières, il est indispensable de continuer à réduire les fuites vers le milieu souterrain.

Les équipes Moraqui : Laboratoire Géosciences Rennes – Université Rennes 1 - CNRS :

	Luc Aquilina, Pr. Univ. Rennes 1, responsable du projet		**Camille Vautier, post-doctorante, géochimie et modélisation**		**Aurélie Guillou, ingénieur de recherche, géochimie des eaux**
	Jean-Raynald de Dreuzy, Dir. Recherches CNRS, modélisation		**Luca Guillaumot, post-doctorant, modélisation**		**Virginie Vergnaud, ingénieur de recherche, Plate-forme Condate-Eau**

Laboratoire Sols Agro-hydrologie Spatialisation – INRAE Agrocampus Ouest :

	Patrick Durand, Dir. Recherches INRAE, modélisation TNT2		**Rémi Dupas, chercheur INRAE, transfert des nitrates**		**Jean Marçais, chercheur INRAE, RiverLy à Lyon, modélisation**

Avec l'appui de l'EPA Baie de Douarnenez (Alida Boishus, Fiona McLaughlin) et la communauté de communes de Morlaix (Paul Salaun, Karine Bloc'h), la Région Bretagne (Florence Massa) et le Creseb (Josette Launay).