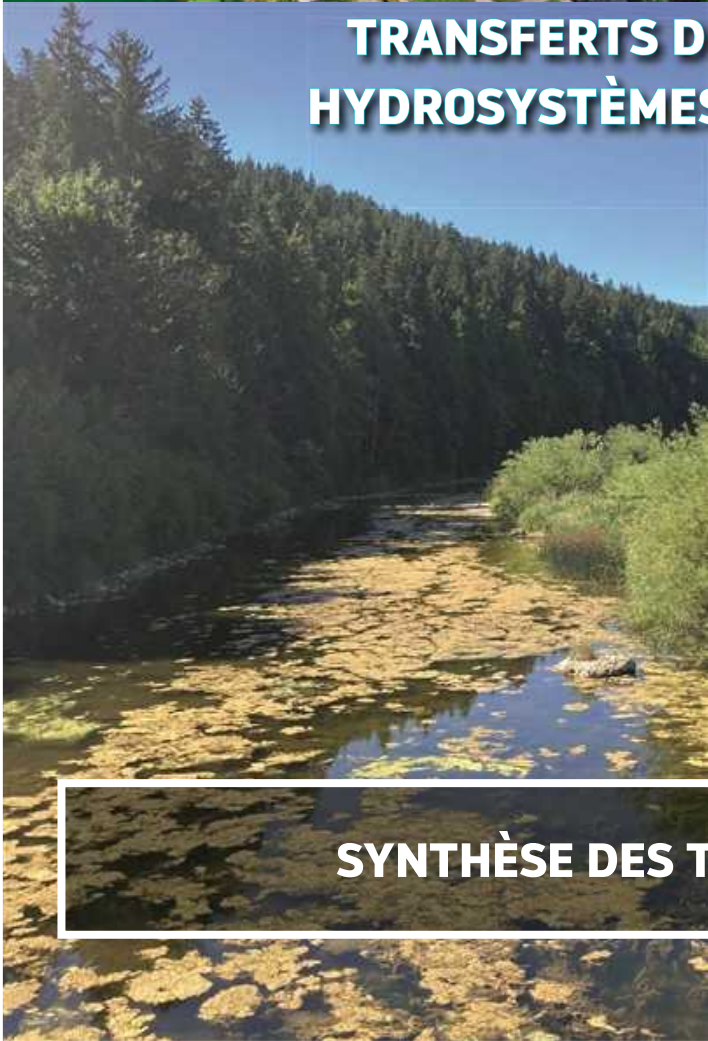




NUTRI- Karst

**TRANSFERTS DE NUTRIMENTS DANS LES
HYDROSYSTÈMES KARSTIQUES DU BASSIN
DE LA LOUE**



SYNTHÈSE DES TÂCHES 3 & 4 - 2025



Cette plaquette est une synthèse des résultats et des interprétations des Tâches 3 & 4 qui clôturent le projet NUTRI-Karst : Transferts de nutriments dans les hydrosystèmes karstiques du bassin de la Loue que vous pouvez consulter en cliquant sur lien suivant :

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-74432-FR.pdf>

LES ENJEUX ET OBJECTIFS

Un besoin de connaissances de l'origine et des facteurs de dysfonctionnement des rivières comtoises dans un contexte de changement climatique pour mieux préserver la ressource en eau des activités humaines, qu'elles soient agricoles ou urbaines

Problématique

La dégradation de la qualité des eaux des rivières comtoises observée depuis plusieurs décennies se traduit notamment par des excès en nutriments, témoins des activités anthropiques passées et actuelles.

Les hydrosystèmes karstiques se distinguent par leur hétérogénéité et leurs dynamiques de transfert complexes, rendant la relation entre les pressions humaines et leurs impacts environnementaux peu évidente à caractériser. Par ailleurs, les aquifères karstiques sont particulièrement vulnérables à la pollution, car ils favorisent l'infiltration de l'eau tout en limitant les processus de filtration dans des sols peu épais. Après l'expertise de l'impact du changement global et des activités agricoles (Tâche 1), il est donc essentiel de caractériser le fonctionnement hydrogéologique de ces milieux karstiques (Tâche 2) avant de déterminer les transferts et la mobilité des polluants au sein des bassins versants (Tâche 3).

Objectif de la Tâche 3 du projet NUTRI-Karst

Caractériser l'impact des activités anthropiques (avec un focus sur les activités agricoles), via l'étude de la dynamique des transferts de nutriments dans les sols, vers les sources et les rivières. Les résultats vont donner les éléments permettant d'accompagner les politiques de gestion des pratiques agricoles et réduire les exportations de nutriments dans les eaux, en complément d'actions sur l'assainissement collectif.

Objectif de la Tâche 4 du projet NUTRI-Karst

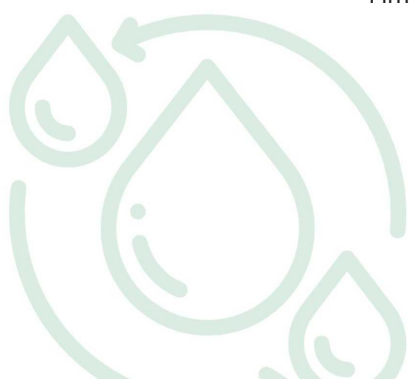
Dans un souci d'objectiver les débats sur le diagnostic environnemental qui peut être mené sur les rivières comtoises, créer un dialogue entre acteurs de terrain et scientifiques pour identifier collectivement des pistes d'actions afin d'améliorer la qualité de l'eau.

LA MÉTHODOLOGIE SUIVIE

Le BRGM et la Chambre d'Agriculture ont collaboré pour collecter de nouvelles données sur plusieurs hydrosystèmes du bassin de la Loue aux différentes échelles du sol, de l'aquifère, et du bassin versant

Approche pluridisciplinaire

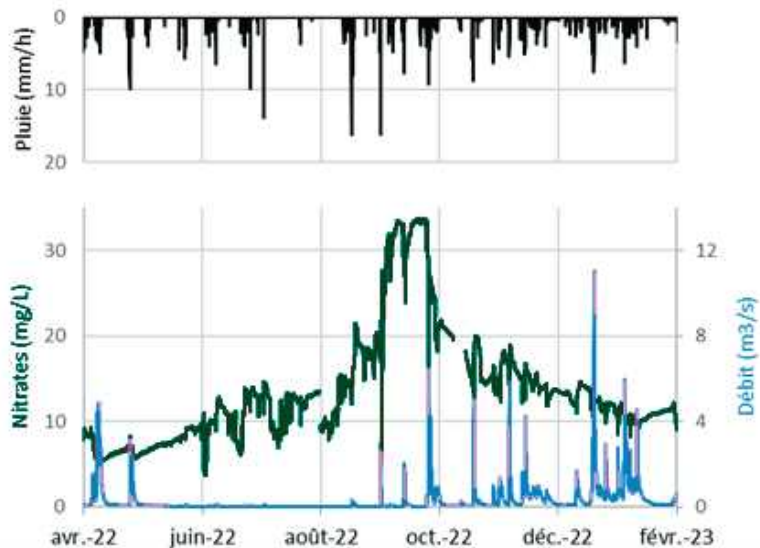
Sur le bassin de la Loue en amont de Chenecey-Buillon (25), une approche pluridisciplinaire a croisé plusieurs techniques : outils géochimiques,



analyse de données hydrologiques et physico-chimiques, modélisation. Elles se basent en partie sur les données acquises dans le cadre du projet sur le site pilote de l'aquifère du Verneau, mais également sur les données du réseau de surveillance de la qualité des eaux QUARSTIC, aux différentes échelles des sources de la Loue et du Lison, et du bassin de la Loue.



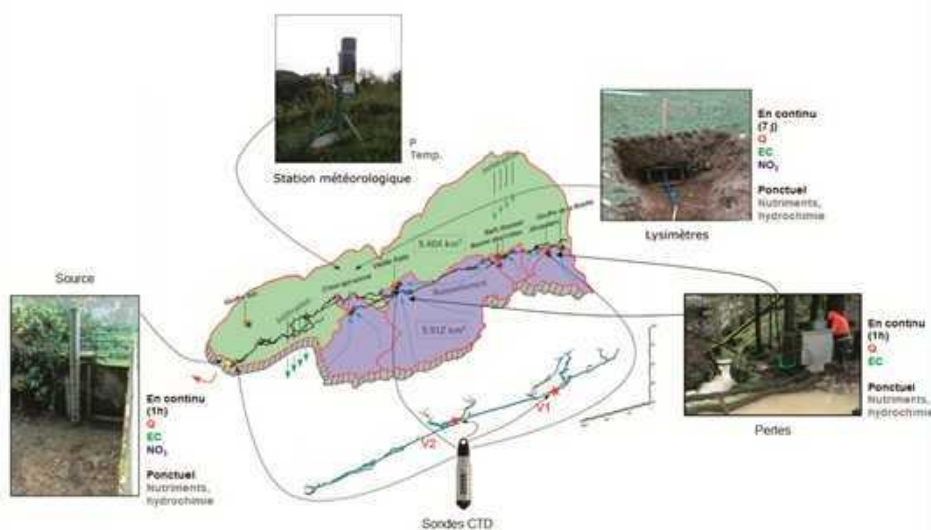
Sonde spectro-lyser scan qui mesure l'évolution en continu des nitrates dans l'eau.



Exemple de l'évolution des concentrations en nitrates mesurées à la source du Verneau (Nans-sous-Sainte-Anne), avec les pics les plus importants lors de la crue de reprise automnale.

Le bassin de la Loue, un territoire sensible au changement climatique, où la diversité des impacts des différentes activités humaines peut être quantifiée

Cette approche pluridisciplinaire a été appliquée sur le site pilote du Verneau et sur les aquifères des sources de la Loue et du Lison. Les flux hydriques et de nutriments ont été suivis de 2020 à 2024 pour quantifier les apports issus des rejets agricoles sur les sols et des rejets urbains dans les cours d'eau, ainsi que les exports au niveau des principales sources et dans les rivières. Elle a permis de proposer des modèles conceptuels qui décrivent les transferts d'azote et de phosphore depuis leur application en surface jusqu'à l'exutoire des hydrosystèmes.



Acquisition de données physico-chimiques dans les différents compartiments du karst (site pilote du Verneau) : pluviométrie P, débit Q, température Temp., conductivité électrique EC, nitrates NO_3^- .

L'occupation agricole du massif du Jura, basé sur la valorisation des prairies avec des pratiques globalement extensives est un atout pour la qualité des eaux. Ce sont en effet les prairies, en particulier permanentes, qui génèrent le moins de transfert de nutriments vers les eaux.

Pour autant, l'agriculture est le principal poste d'apport à plus de 90%, aussi bien en azote qu'en phosphore sur le territoire, devant les rejets urbains ou industriels. Cependant, leur impact est très différent sur le milieu.

L'azote retrouvé dans les eaux provient de la recharge diffuse depuis les plateaux et a une origine agricole, mais ce sont certaines pratiques agricoles à risque, qui sont identifiées comme étant les plus impactantes.

L'essentiel du phosphore dans les eaux provient des rejets urbains ou industriels localisés dans, ou à proximité des cours d'eau.

LES RÉSULTATS

Les origines de la pollution des eaux par les nitrates et le phosphore décryptées, en fonction des modalités d'apports et du contexte hydrogéologique très vulnérable des paysages karstiques

Rappel de l'évolution de l'élevage sur le massif du Jura

L'occupation du sol (prairies, cultures) est globalement stable depuis 50 ans, dominé par les prairies permanentes (80 %) devant les prairies temporaires (10 %) et les cultures (10 %).

Les effectifs bovins ont connu une baisse significative entre les années 80 et 2010 en raison des quotas laitiers et sont en augmentation depuis une quinzaine d'année, sans pour autant atteindre le niveau des années 80. La pression en azote et en phosphore issue du cheptel bovin sur le massif du Jura est légèrement inférieure en 2019 à celle de 1979 (-5 à -10 %).

L'augmentation de la production de lait et de Comté n'est pas un indicateur démontrant une intensification de l'agriculture sur le massif du Jura.

Ce sont les effectifs bovins qui conditionnent les rejets en azote et en phosphore sur le territoire. Malgré l'augmentation de la production de lait par vache (amélioration zootechnique mise en œuvre par les éleveurs), les rejets bovins n'augmentent pratiquement pas avec la production de lait, par rapport aux années 80. L'augmentation de la production de Comté est principalement due au transfert de production de fromages d'autres filières déjà présentes sur le massif jurassien.

L'augmentation récente des effectifs bovins et des livraisons de lait est une menace pour la qualité de l'eau et l'autonomie des fermes dans un contexte de changement climatique si elle s'accompagne d'une augmentation des achats d'engrais et d'aliments. Les fermes les plus intensives de ce point de



Prairie déséchée sous l'impact du réchauffement climatique.

vue sont les plus à risque pour les transferts d'éléments minéraux vers le karst et les rivières.

L'augmentation de l'utilisation des engrais minéraux azotés dans les années 80-90 a été stoppée, et une diminution par 2 à 3 est opérée depuis les années 2000.

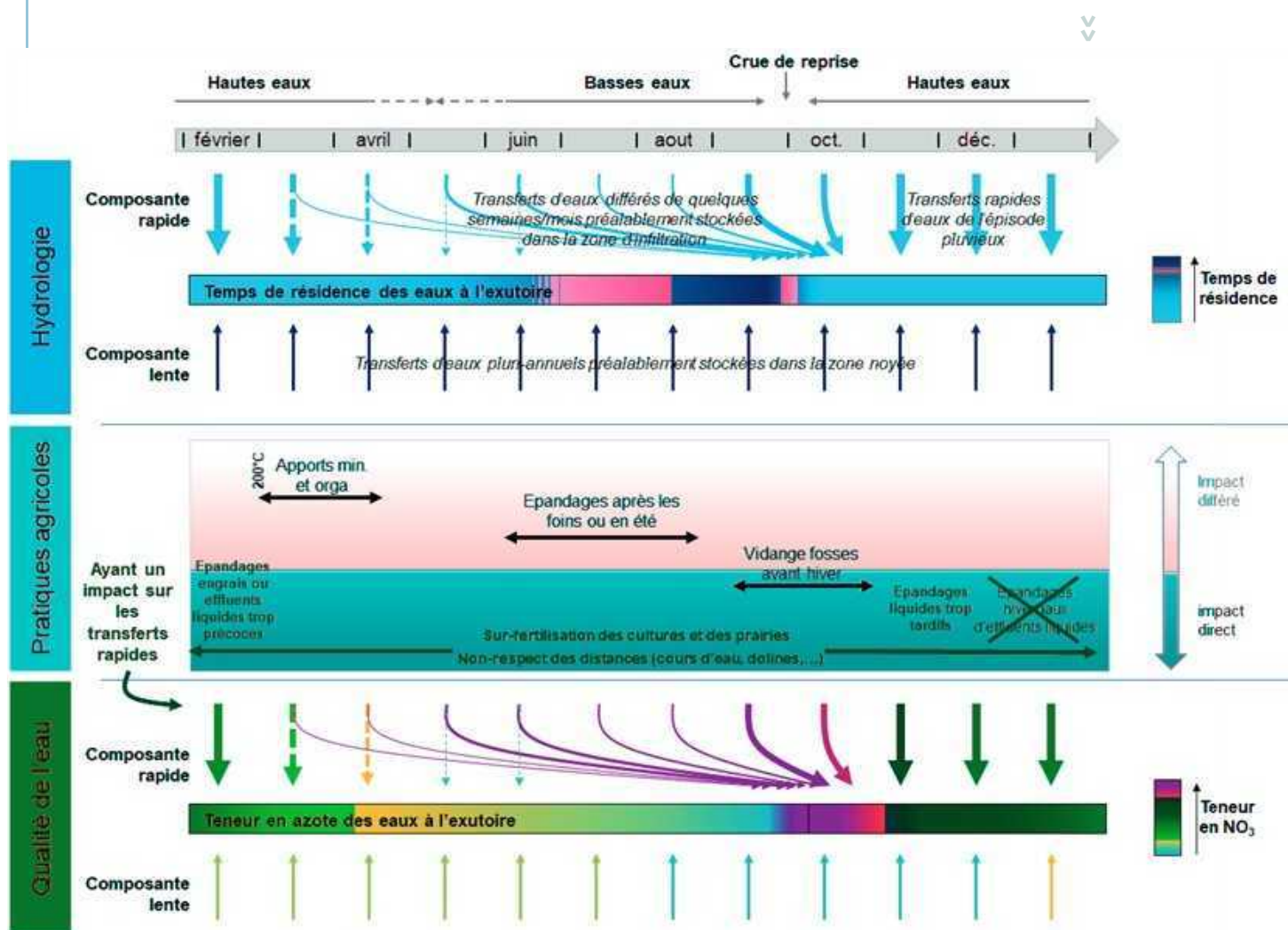
Le développement des systèmes lisier, consécutif à la mise aux normes des bâtiments d'élevage initiée dans les années 90, s'est accompagné d'une augmentation des capacités de stockage, d'une amélioration des conditions d'épandage (plans d'épandage, contrôle des doses épandues...) et d'une diminution des achats d'engrais azotés.



Prairie retournée par un labour.

Impact des transferts saisonniers d'azote dans les aquifères et bassins karstiques, mettant en évidence la variabilité des temps de transfert en fonction des conditions hydrologiques ; la taille des flèches symbolise l'importance des flux qui sont plus importants pour la composante rapide.

Notons que les pratiques agricoles impactent principalement la composante rapide des écoulements ; il n'y a donc pas d'action possible à court terme pour limiter les concentrations de la composante lente (qui diminueront progressivement si des mesures de réduction des apports sont engagées sur le long terme).



La fragilité du karst et les effets du changement climatique

Dans les sols, même en l'absence d'apport de fertilisants, les prairies naturelles sont susceptibles d'engendrer un lessivage de nitrates à l'automne à l'issue d'une période sèche du fait de leur richesse en matière organique, par minéralisation naturelle de l'azote organique.

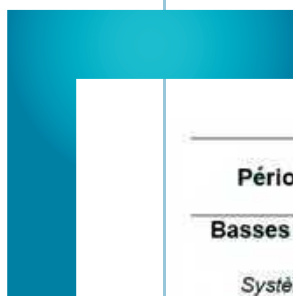
Par ailleurs, la dégradation de certaines prairies du fait du changement climatique (excès d'eau ou sécheresse) peut inciter à leur retournement. Celui-ci s'accompagne d'une augmentation de la minéralisation de l'azote du sol et du lessivage des nitrates. La quantification précise de l'évolution de la part des prairies retournées chaque année n'a pas

pu être précisée et demeure un point de vigilance.

Le massif du Jura, par sa nature karstique, avec ses failles, ses dolines et ses sols superficiels (2/3 de la surface agricole) est plus sensible aux transferts rapides de l'azote. Les sols superficiels sont également plus impactés par le changement climatique : diminution des rendements et augmentation des pertes de nitrates. Du fait de la prépondérance des sols superficiels, les flux infiltrés vers les eaux souterraines et les eaux de surface sont du même ordre de grandeur que dans certaines régions agricoles aux pratiques plus intensives (Normandie, Lorraine...).

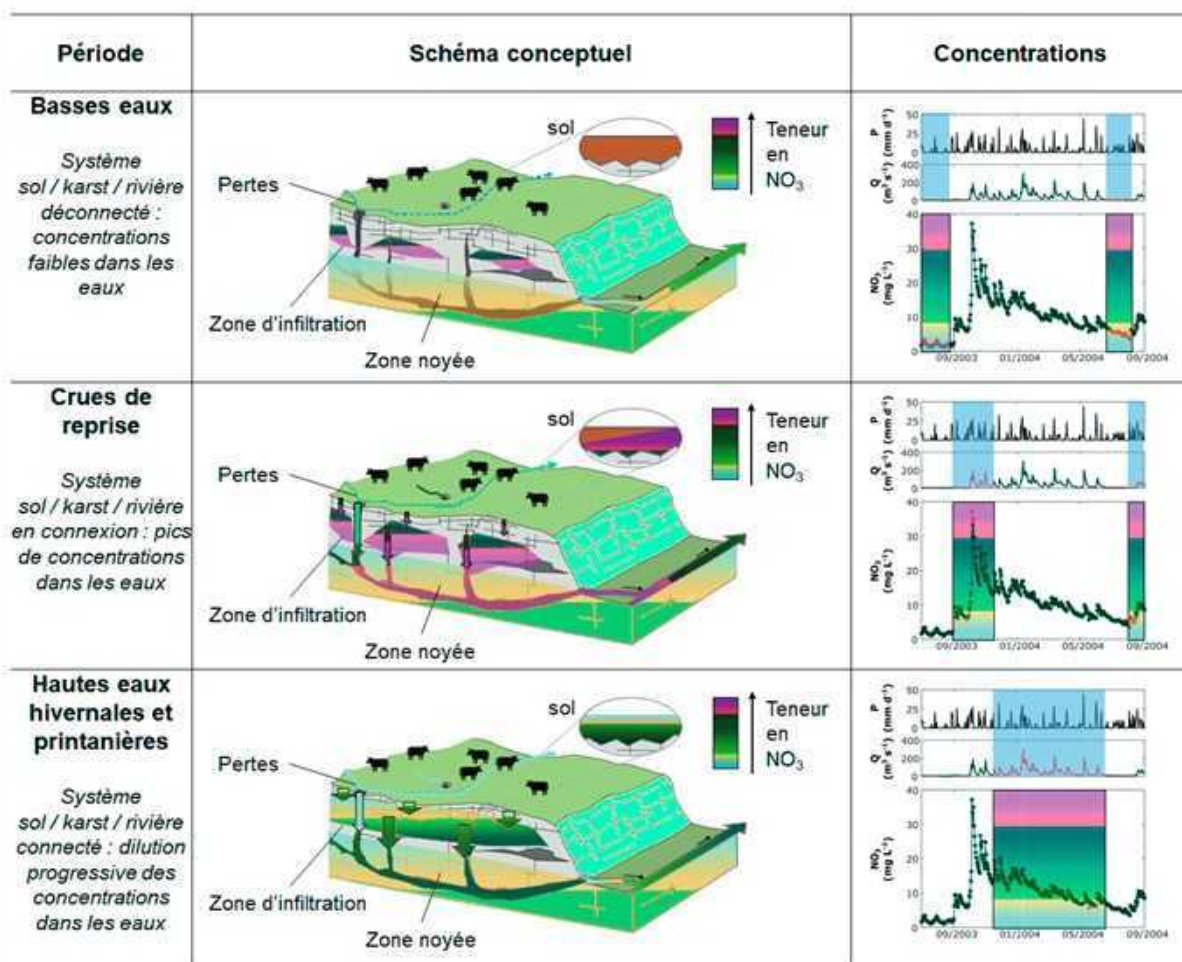
Les karsts ont la propriété de transférer rapidement (en quelques heures/jours) une partie de l'eau de pluie ou des pertes d'eaux de surface jusqu'à

>>>



>>

Schémas conceptuels des processus de transfert dans les compartiments sol, zone d'infiltration, zone noyée du karst, et à l'exutoire (sources et rivières). Les 3 schémas décrivent les processus pour 3 grandes conditions hydrologiques des basses eaux (juin-septembre), des crues de reprise (septembre-octobre) et des hautes eaux (novembre-mai).



L'eutrophisation des cours d'eau est un des impacts des excès en nutriments (azote et phosphore) dans les eaux. Elle se traduit par une prolifération d'algues et une asphyxie du milieu, et est un des marqueurs de la dégradation de la qualité des eaux en raison de son rôle sur la santé des écosystèmes. Les nitrates - la forme la plus soluble de l'azote - ont également la particularité d'être suivis sur de nombreux réseaux réglementaires des masses d'eau, donnant une vision historique de la dynamique de leurs concentrations au cours du temps.

l'exutoire (source, rivière). La géométrie des réseaux souterrains dans lesquels se réalisent ces transferts rapides est généralement inconnue, rendant complexe leur caractérisation. Les karsts ont également la particularité de transférer lentement (pendant des semaines, des mois, voire des années) l'eau infiltrée sur les plateaux, à travers le massif calcaire fissuré. **Cette dualité des écoulements qui co-existe au sein d'un même aquifère karstique impacte les transferts de polluants** et doit être considérée pour adapter les mesures de réduction de leurs excès dans l'eau.

Les différents impacts identifiés en lien avec les périodes d'apport et les activités anthropiques les plus à risque

Les flux de nitrates dans les eaux sont corrélés à la présence de pratiques agricoles à risque localisées essentiellement sur les premiers plateaux.

L'impact du réchauffement s'ajoute à celui des pratiques agricoles, en étant même une cause importante de l'ampleur des pics de concentration en nitrates à l'automne. Le phosphore provient des rejets ponctuels d'origine urbaine (dysfonctionnement de stations d'épuration) ou industrielle. Les pratiques agricoles à risque sont le retournement des prairies, l'épandage d'effluents liquides (lisier, purin), en particulier lorsqu'il est réalisé trop tôt en sortie d'hiver ou trop tard en fin d'année, l'augmentation du cheptel bovin qui accroît globalement la pression en azote et en phosphore.

La part des prairies temporaires et des cultures dans un bassin versant, qui s'accompagne du travail du sol, de sols nus en interculture et d'un niveau de fertilisation plus élevé, est corrélée aux concentrations plus fortes en nitrates à son exutoire. Les effluents liquides sont plus sensibles aux pertes d'azote par lessivage que les apports de fumiers. Les analyses de l'eau drainée dans les sols (cases lysimétriques), ont permis de montrer un taux de lessivage des nitrates épandus 3 fois plus élevé lorsque l'azote est apporté sous forme d'effluent liquide (purin, lisier), en comparaison avec les apports sous forme de fumier.

Un nouveau schéma conceptuel des transferts de nutriments dans le karst qui tient compte des modalités d'infiltration, des échanges karst-rivière et des temps de résidence de l'eau au sein des aquifères karstiques

La saisonnalité de l'évolution des nitrates s'explique par une succession de 3 périodes hydrologiques :

- L'augmentation progressive du bruit de fond en nitrates lors des basses eaux estivales en drainant les eaux les plus anciennes (plusieurs mois à plusieurs dizaines d'année) ;

- Les principaux pics en nitrates lors des crues de reprise automnales en vidangeant les eaux préalablement stockées dans la zone d'infiltration du karst depuis le printemps ;

- Les fortes teneurs puis dilutions progressives de nitrates lors des crues de hautes eaux hivernales et printanières, par transferts rapides des eaux de pluie.

Ainsi, les apports de fertilisants, fumier, purin ou engrais de synthèse, réalisés au printemps (mars à juin) ne génèrent pas ou peu des pics de nitrates au moment de leur application. Les premiers pics

Discussion en plénière avec
présentation de résultats
scientifiques pour objectiver
les débats.

Réalisation d'enquêtes auprès des acteurs et animation de 3 ateliers participatifs pour co-construire une vision partagée et accompagner le territoire.

Les ateliers ont permis de mobiliser largement la diversité des acteurs locaux, témoignant d'un réel intérêt pour le dialogue autour de la qualité des eaux des rivières comtoises. Le partage de connaissances a contribué à construire une compréhension commune des causes de la dégradation et des impacts socio-économiques associés, tout en identifiant collectivement certaines pistes d'action. Celles-ci portent surtout sur l'évolution des pratiques existantes plutôt que sur des transformations plus structurelles et à plus long terme du modèle agricole, dans une perspective d'adaptation au changement climatique. Un prolongement de la démarche pourrait consister à explorer, via une approche prospective et pluridisciplinaire intégrant l'économie, la faisabilité et les implications de trajectoires de transition agricole plus profondes.





de nitrates à l'automne sont principalement liés aux apports printaniers/estivaux dont le transfert est différé de quelques mois, suivis des premiers lessivages du sol lors de sa ré-humidification. Les fortes concentrations observées à l'automne ne sont donc pas liées aux applications réalisées durant cette période (vidange de fosses avant l'hiver par ex.). Les pratiques anciennes (> 5-10 ans) sont responsables du bruit de fond de la pollution en nitrates, mesurable en basses eaux (étiage). Ce bruit de fond correspond en général aux concentrations plus modérées.

Sur les effets bénéfiques à court et long terme d'une réduction significative des apports de nutriments

Le réchauffement climatique – en amplifiant la mobilisation des nitrates à l'automne – masque en partie les efforts réalisés depuis plusieurs années sur la réduction des apports d'origine agricole. Il impose de renforcer les changements opérés par la profession agricole pour améliorer la qualité de l'eau sur le long terme. Une réduction significative des apports d'origine agricole (pour l'azote) et urbaine/industrielle (pour le phosphore) aurait un impact bénéfique à court terme (1 à 2 ans) sur les pics de concentrations, les flux annuels, et donc plus globalement sur la qualité de l'eau. Il faudra attendre plusieurs années pour observer l'impact sur les concentrations observées lors des périodes de basses eaux, lorsque la température se réchauffe et que les phénomènes d'eutrophisation apparaissent.

Des tests de scénarios de changements de pratiques agricoles qui tiennent compte du changement climatique (baisse du cheptel de 25%, diminution de la fertilisation minérale, passage du total de la SAU en prairie) et appliqués sur l'ensemble du territoire, vont dans le sens d'un impact bénéfique à court terme. Ils permettent de quantifier le potentiel effet du changement : abattement des concentrations moyennes annuelles en NO_3 de 1 à 1.5 mg/L (sur une moyenne de 6 mg/L), et diminution des flux annuels de N-NO_3 d'environ 20 à 30 %.

SYNTHÈSE & LEVIERS D'ACTIONS

Une proposition de leviers d'actions a été réalisée sur la base d'un éclairage nouveau sur l'origine de la pollution des eaux par les nutriments.

Ces leviers déclinent de manière opérationnelle les résultats scientifiques sur les actions à mettre en œuvre pour limiter les transferts, réduire les rejets issus de l'assainissement des collectivités, et optimiser les pratiques agricoles. Ils permettront de renforcer et de généraliser les efforts initiés par la profession agricole sur le massif du Jura, qui pourra, selon les orientations prises, être le moteur de la réduction des transferts d'azote.

Actions pour mieux prendre en compte la vulnérabilité du milieu karstique et les effets du changement climatique :

- Mieux comprendre la diversité des fonctionnements hydrogéologiques des aquifères les plus impactés par la pollution des eaux et caractériser les interactions eaux de surface/eaux souterraines afin de surveiller plus efficacement les zones de rejets (quelquefois lointaines) impactant le milieu ;
- Cartographier les modalités d'infiltration pour optimiser les épandages en fonction des zones les moins vulnérables ;
- Limiter les épandages à proximité des zones de transfert rapide et sur les sols les plus superficiels, en particulier avec des effluents liquides ;
- Accompagner la filière agricole vers une augmentation de l'autonomie fourragère impliquant un ajustement de la taille des cheptels à une offre fourragère en diminution du fait du changement climatique ;
- Sécuriser les capacités de stockage des effluents d'élevage et optimiser les épandages lors des périodes favorisant un impact faible sur le milieu.

Actions visant à renforcer l'intérêt d'une agriculture basée sur les prairies et qui valorise ses effluents :

- Renforcer les connaissances sur le fonctionnement des sols pour limiter le recours aux engrais de synthèse et mesurer les effets du changement climatique ;
- Maintenir les prairies permanentes, limiter leur retournement et apporter une vigilance accrue dans la gestion des prairies temporaires et des cultures ;
- Accentuer les actions en faveur de l'optimisation de la fertilisation minérale et organique, en apportant une attention particulière pour les épandages d'effluents liquides (purin et lisier).

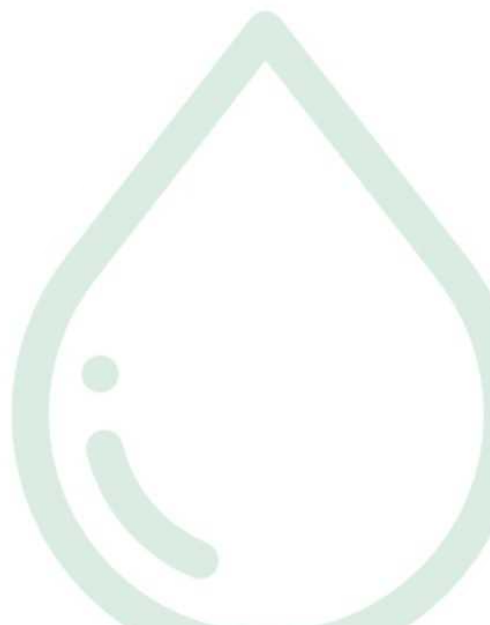
Actions pour réduire les rejets issus de l'assainissement collectif :

- Re-construction, création ou réhabilitation des stations d'épuration et des réseaux d'assainissement défectueux ;
- Reconstruction ou création de nouvelles stations d'épuration ou de traitement des eaux usées.



<<

Perte karstique et injection d'un colorant pour caractériser les circulations d'eau souterraine et la vulnérabilité du milieu.



NUTRI-Karst

le projet en quelques mots

Mieux comprendre l'impact des activités anthropiques (agricoles, rejets domestiques) sur le devenir des nutriments dans les eaux des rivières comtoises

- • • **6 ans**, fin de programme en 2025.
- • • **Financement**, Agence de l'eau RMC, BRGM, CIA 25-90.
- • • **Coordination**, BRGM, partenariat CIA 25-90.
- • • **Production scientifique**, assurée par 2 agronomes, 4 hydrogéologues, 1 géochimiste, 1 géologue, 1 technicienne.
- • • **Moyens mis en œuvre**, production de données (suivis physico-chimiques, hydrogéologiques, agronomiques),

développement d'approches hydrogéologiques dédiées aux hydrosystèmes karstiques cultivés (analyse des données, modélisation).

- • • **Un comité de suivi** dans le but de fédérer les différents acteurs locaux autour du projet et regroupant les collectivités (Départements, EPTB, EPAGE, syndicat de rivière, PNR,...), les services de l'Etat (DDT, DREAL, OFB, DRAAF), le secteur agricole, et de la pêche et la société civile (CIGC, fédérations de pêche...).
- • • **3 ateliers participatifs multi-acteurs** pour co-construire une vision partagée et diffuser les résultats.

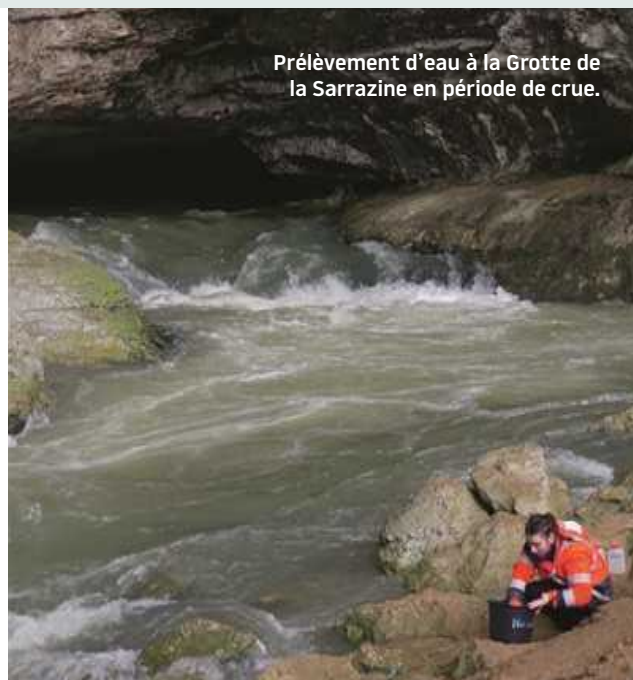
ORGANISATION EN 4 TÂCHES

Tâche 1 : Réponses des agro-hydro-systèmes du massif du Jura face au changement climatique et aux activités anthropiques

Tâche 2 : Caractérisation hydrogéologique et délimitation des zones contributives au débit des rivières à l'échelle des systèmes karstiques et du bassin de la Loue

Tâche 3 : Transferts de nutriments d'origine agricole aux échelles du sol, de la source karstique et du bassin

Tâche 4 : Porter à connaissance pour construire une vision partagée des causes de la perturbation des rivières comtoises



Prélèvement d'eau à la Grotte de la Sarrazine en période de crue.

BRGM
Bourgogne-Franche-Comté -
Dijon

Parc technologique
27 rue Louis de Broglie
21000 Dijon
bourgogne-franche-comte@brgm.fr

Chambre
Interdépartementale
d'Agriculture Doubs -
Territoire de Belfort

130 bis rue de Belfort
25021 Besançon CEDEX
chambagri25@agridoubs.com

Agence de l'eau Rhône
Méditerranée Corse
Délégation régionale de
Besançon

Le Cadran
34 Rue de la Corvée
25000 Besançon
contact.agencedeleaubesancon@
eaurmc.fr