



Perspectives recherche émanant du projet Trans-P

Cette note dresse les perspectives de recherche sur le phosphore découlant du projet Trans-P, en ciblant les têtes de bassin versant. Il nous semble en effet qu'il reste de très forte méconnaissance sur le phosphore, et qu'il faut poursuivre l'effort dans le cadre d'un partenariat renforcé entre territoires, équipes de recherche et financeurs (Agence de l'Eau, Région, etc.). Un partenariat renforcé entre territoires et équipes de recherche nous paraît le seul cadre permettant en parallèle d'accroître la connaissance sur les mécanismes et facteurs contrôlant les émissions de phosphore responsable de l'eutrophisation et d'identifier les leviers susceptibles d'être activés au sein des territoires pour limiter ces émissions. Par ailleurs, nous ciblons les têtes de bassin versant, car l'eutrophisation des eaux concerne surtout les retenues situées souvent à l'amont. Ce sont également à l'échelle des têtes de bassin que s'observent les plus fortes variabilités, permettant l'identification des outils pour prioriser l'action, ainsi que des sources et solutions. Bien évidemment, aller vers une analyse des couplages et des couplages des cycles biogéochimiques, en particulier dans les têtes de bassin versant, est un objectif global que nous devons garder comme cible. Un projet ANR a été déposé en ce sens, et les perspectives d'un projet sur le phosphore viendraient compléter les connaissances nécessaires sur le phosphore.

1. La connaissance des processus de rétention et de mobilisation du P des sols vis-à-vis des transferts.

Force est de constater que, malgré les fortes teneurs en P total et P extractibles des sols du bassin versant de Naizin, les émissions sont faibles. Les sols du massif armoricain ont une forte capacité de rétention, questionnant **les mécanismes de rétention, l'estimation d'une saturation potentielle des sols en P, les mécanismes de mobilisation du P, tant localement, en fonction des sols et des conditions hydrologiques, qu'à différentes échelles spatiales.**

- **Comprendre la forte rétention en P des sols, les processus de mobilisation, les taux de saturation, en fonction de la position dans le paysage, des pratiques agricoles, des interactions sol-nappe.**
- **Estimation du P des sols.**
 - **Estimation des incertitudes sur les cartes des teneurs en P total et P dissous produites à l'échelle de la Bretagne, et les stratégies pour les réduire, en particulier dans les zones à enjeux.** Les cartes produites ne sont pas assorties d'une estimation des incertitudes.
 - **Amélioration du modèle d'estimation de la teneur en P extractibles des sols, en fonction des pratiques agricoles.** Ce volet nécessitera une acquisition de données sur les sols et les pratiques agricoles pour améliorer le modèle. Il peut se décliner à une **échelle territoriale**, en particulier en faisant des focus sur les teneurs en fonctions des configurations paysagères (position topographique, configuration de la zone d'interaction sol-nappe, ...) sur Naizin ou sur d'autres sites à vocation opérationnelle, comme à **l'échelle de la région Bretagne**, en mettant en place des stratégies complémentaires d'analyse des sols.
- **Estimer les teneurs en phosphore des berges, des bordures de cours d'eau, des chemins,...** structures linéaires potentiellement enrichies en P : teneur, mobilité.

2. La connaissance des flux et des incertitudes associées

- Les méthodes développées pour estimer les flux restent à établir pour le SRP, compte tenu des caractéristiques physiques du bassin versant : quelle taille de bassin limite pour appliquer ce genre d'approche ? Jusqu'à quel degré de variabilité hydrologique ? Pour quelles classes d'usage des sols ? Il est probable que pour des bassins de plus grande taille, où la variabilité temporelle est moindre, l'intérêt de ce type d'approche soit plus grand encore. Une perspective est donc de tester cette approche pour des bassins versants opérationnels de méso-échelle (50-100 km² voire plus) sur lesquels un suivi de plus haute fréquence qu'usuellement serait mis en place.
- Une telle approche mérite d'être testée sur d'autres paramètres dont il est important de quantifier les apports vers l'aval, comme par exemple les flux en nitrate à partir du débit ou de la conductivité, ou encore les flux en matières en suspension.

3. La connaissance des mécanismes et conditions de production du phosphore dissous dans les paysages agricoles (causes de la différence de réactivité des zones de battement de nappes).

Les suivis effectués tant à la petite échelle (BV de Kervidy-Naizin) qu'à la grande échelle (Bretagne) montre qu'**une partie non négligeable du P exporté des sols vers les eaux de surface mobilise des formes dissoutes et colloïdales**. L'émergence de cette composante accroît le risque eutrophisation généré par les excès de phosphore présent dans les sols de Bretagne dans la mesure où les formes dissoutes du phosphore sont plus biodisponibles que les formes particulières et dans la mesure aussi où cette composante est plus mobile que la composante particulière dans les sols et les eaux. Force est de constater cependant que la taille de cette composante et sa variabilité spatio-temporelle sont encore mal connues, comme sont encore mal connues les mécanismes et les conditions requises pour sa production dans les sols et son transfert vers les eaux de surface. Si les zones de battement de nappe semblent être les zones privilégiées de production de cette composante, des questionnements subsistent sur **les facteurs contrôlant la production nette de phosphore dissous dans ces zones et les formes chimiques (inorganiques, organiques, colloïdales)**. Pourquoi certaines zones de battement de nappe produisent-elles des formes dissoutes principalement inorganiques, alors que d'autres produisent des formes plutôt organiques ? Est-ce lié à des différences dans les formes du P apportées au sol ou à des différences dans la dynamique des nappes, ou un cumul des deux ?

Une perspective est donc de développer des recherches sur **les facteurs du milieu et les facteurs climatiques favorisant la production de cette composante dissoute du phosphore dans les paysages agricoles**.

Une autre perspective est de prédire **l'évolution sur le long-terme de cette composante** dans la mesure où i) elle peut refléter un mécanisme de fuite sur le long-terme des stocks considérables de P particulière présents dans les sols de Bretagne, et ii) le changement climatique, dépendant qu'il se traduise par une diminution des périodes longues de précipitation, pourrait conduire à une intensification des battements de nappe, évolution susceptible de stimuler la production de phosphore dissous au sein des zones d'interface versant-rivière.

4. La connaissance des facteurs à l'origine de la variabilité spatiale des flux, et des liens entre pressions, stocks, structures des paysages et flux.

Un des résultats importants de l'analyse des flux actuels et passés de P est l'émergence d'une relation entre la variabilité des flux et la taille de l'aire drainée, **la variabilité des flux étant beaucoup plus importante dans les têtes de bassins que dans les bassins versants de plus grande taille**. Cette

relation offre des perspectives du point de vue de la recherche des facteurs de contrôle des transferts de P, dans la mesure où elle indique que l'échelle des têtes de bassin est l'échelle caractéristique d'expression de ces facteurs. C'est à cette échelle qu'il faut instrumenter pour préciser les flux et mieux connaître les formes du P exporté, et leur variabilité saisonnière. C'est aussi à cette échelle qu'il convient de cibler l'analyse des relations entre pressions, stocks, structure des paysages et flux, puisque des variations dans ces relations s'expriment. Cette relation offre également des **perspectives en matière d'action** dans la mesure où **le repérage dans les paysages des têtes de bassins les plus exportatrices et la compréhension des causes de ces fortes exportations permettra de cibler les actions, avec à l'arrivée une réduction des coûts et une meilleure efficacité du point de vue de la réduction des flux plus à l'aval.**

Une perspective est donc de développer des travaux ciblés sur un panel de sous-bassins amont représentatifs du contexte breton et présentant une forte variabilité des flux de manière à comprendre les déterminants de cette variabilité, et notamment les facteurs à l'origine des flux forts. Cela passera par :

Une meilleure estimation des flux de P_{dissous} et de P_{total} et de leurs incertitudes, en s'appuyant sur les résultats développés dans le point 2.

Une analyse des formes du P transférés et de leur réactivité. Toutes les formes du P ne sont pas également biodisponibles et il est important de cibler les actions sur les sous-bassins émettant du P particulièrement biodisponible. La dimension temporelle (variabilité des formes et de la réactivité entre hiver et été) sera un aspect important de l'analyse, les impacts sur les hydrosystèmes aval variant suivant les saisons (impact plus fort en été qu'en hiver).

Une analyse statistique et conceptuelle des relations entre pressions, stocks, structure des paysages et flux. Le projet Trans-P a permis des améliorations sur l'estimation des teneurs en P des sols et de leur variabilité, sur l'analyse des zones du paysage à risques du point de vue des transferts, et sur la connaissance des flux sortants et de leur variabilité spatio-temporelle, sans que nous puissions mettre en relation ces différentes variables entre-elles. Cette absence de mise en relation constitue un frein à la compréhension des flux émis dans les têtes de bassins bretons et aussi un frein puissant à l'action. L'objectif ici sera de développer une analyse statistique et conceptuelle des relations entre pressions, stocks, structure des paysages et flux sur le panel ciblé de sous-bassins versants. Outre les gains en connaissance sur les mécanismes et facteurs impliqués dans la genèse des flux et notamment des flux les plus forts, ce type d'approche permettrait d'identifier le/les meilleurs indicateurs pour estimer le P mobilisé dans les paysages et transféré au réseau hydrologique (est-ce que le P Olsen équivaut au P Dissous ? Quelles données permettraient de faire le lien entre le sol et ce qui se retrouve dans l'eau ?), l'enjeu final étant le développement de méthodes plus performante de prédiction des émissions (par exemple modèles de type Nutting), prenant mieux en compte les pressions, les stocks dans les sols, et les dynamiques de transfert.

5. Des modèles pression-impacts aux échelles territoriales d'un nouveau type.

Le modèle TNT2-P n'a pas été conçu pour être un outil de gestion. S'agissant d'un modèle distribué à haute résolution, il ne peut pas être utilisé sur des bassins versant de taille opérationnelle (> 100 km²), d'autant plus que le module hydrologique inspiré de TOPMODEL supporte mal les résolutions supérieures à 50 m. Le modèle n'inclut pas non plus les émissions domestiques, ponctuelles ou diffuses, ni les processus in-stream qui ont de l'importance dans des bassins versants de grande taille. Enfin, il ne simule pas l'effet des pratiques agricoles sur l'évolution du P Olsen dans les sols. Il serait possible d'utiliser un autre modèle pour générer des cartes d'évolution du P Olsen sous différents scénarios de gestion et d'utiliser ces cartes comme donnée d'entrée de notre modèle. Chercher à coupler un modèle d'évolution du P des sols avec notre modèle ne semble pas une option à recommander i) pour éviter d'augmenter le nombre de paramètres et ii) parce que la nature et la

résolution temporelle des données à acquérir pour calibrer chacun des deux modèles sont différentes. Finalement, le temps de calcul pour une simulation (environ 4 minutes par année de simulation pour un petit bassin versant comme Kervidy-Naizin) est long si l'on veut assortir les prédictions du modèle d'une estimation de l'incertitude par la méthode GLUE.

Des approches semi-distribuées sont donc plus adaptées pour les bassins de gestion, même si les modèles existants comptent souvent beaucoup de paramètres par rapport à la quantité d'information contenue dans les données disponibles pour les calibrer. Les développer permettrait de se doter d'outils de prédiction plus fins : ils devront intégrer un modèle d'estimation des stocks de P en fonction des pratiques agricoles, un modèle de lessivage (STICS-P, please,...), un modèle de transfert, et un modèle de réactivité sol/nappe.

La partie pression est également peu détaillée : peut-on faire une typologie des systèmes de culture au regard des surplus de P ? Comment sur quelle base ? cet enjeu peut se décliner à l'échelle d'un petit territoire comme Naizin, comme à des échelles territoriales de gestion.

Bien que ce volet puisse se décliner en soit, il est clair que ce développement d'un outil de modélisation appliqué à la gestion s'effectuera en lien avec les volets précédents, et plus particulièrement avec le volet 3, lequel par son approche sous-bassins versants fournira un cadre applicatif au modèle développé.

6. Dimensions socio-économiques

Les bilans agronomiques indiquent des surplus de P très hétérogènes, que ce soit sur le bassin versant de Naizin, ou sur l'ensemble de la Bretagne. Ces surplus sont difficiles à spatialiser. Cette spatialisation est néanmoins nécessaires de manière à voir si elle est compatible ou non avec des zones à forte teneur en P, ou à risque de transfert. Par ailleurs, toute remédiation demanderait à s'inscrire dans une logique de production, déployée selon des systèmes de culture. Enfin cette remédiation ne pourra pas être une simple liste de mesure, mais engager une réflexion sur les freins et leviers à l'évolution d'un système donné. Dans cette voie plusieurs actions nous sembleraient intéressantes

- Analyser l'hétérogénéité des bilans de P à l'échelle d'un petit bassin versants tel que celui de Naizin, et à l'échelle de plus grand territoires (si tant est que la donnée soit disponible), de manière à identifier les points noirs (forts surplus de P, dans des zones à risque de transfert).
- Analyser les modalités d'accompagnement à des évolutions de pratiques ou de systèmes, allant au-delà du simple diagnostic, notamment par des approches socio-techniques (modélisation d'accompagnement, jeux,...) ou économiques (couts efficacité,...).

Ces compétences n'étaient pas présentes dans TransP, mais nous sommes ouverts à y réfléchir. Cependant, cet item n'aurait de sens qu'en englobant le P dans l'ensemble des pollutions diffuses par les nutriments issus des activités agricoles (N, P, C).