

**SYST'N**  
Hauts-de-France  
Simulations  
Réseau de parcelles

Le projet « AdOu-SY », labellisé par le Réseau Mixte Technologique « Fertilisation & Environnement », a permis d'acquérir de nouvelles références locales dans des conditions pédoclimatiques permettant d'améliorer le modèle, de tester et éprouver l'outil sur différentes situations, et diffuser l'outil auprès des conseillers agricoles et des acteurs de la région.

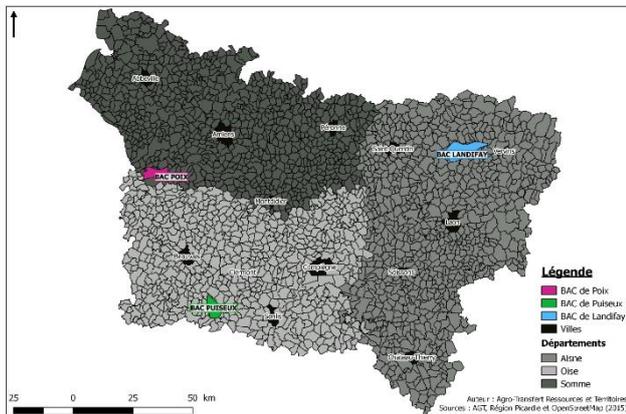


Figure 1 : Carte de l'ex-région Picardie représentant les différents cantons et départements, ainsi que la localisation des BAC suivis dans les projets Innovagr'Eau et AdOu-SY

## Problématique

Suite aux incohérences constatées dans le cadre des projets Innovagr'Eau (2013-2016) et Innovagr'Eau 2 (2016-2017), entre les références régionales et les sorties du modèle en Picardie, le projet « AdOu-SY » visait d'une part à acquérir de nouvelles références locales pour d'améliorer et caler le modèle dans des conditions pédoclimatiques des Hauts de France, et d'autre part favoriser la diffusion de l'outil auprès des conseillers agricoles et des acteurs de la région.

## Contribution du projet au programme du RMT Fertilisation & Environnement

Issu du projet Azosystem (2005-2009) et développé par l'INRA et d'autres partenaires du RMT Fertilisation et Environnement, SYST'N est un modèle dynamique convivial qui simule le fonctionnement des cultures à l'échelle de la rotation, permettant de simuler un système de culture. Il quantifie et explique, a priori les pertes azotées ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ) de ce système de culture. Eprouvé et validé dans plusieurs régions françaises (régions Centre (Dupas, et al., 2015), Alsace et Bretagne), Syst'N se montre pertinent pour l'animation de groupes d'agriculteurs par sa capacité à expliquer le fonctionnement du système sol-plante et mettre en relation l'effet des pratiques culturales sur les pertes azotées des systèmes de culture. Cependant, en région Hauts de France, les références régionales existantes se montrent parfois incohérentes avec les sorties du modèle. Ce projet a permis de contribuer à rendre plus robuste l'utilisation de SYST'N dans les pédoclimats des Hauts-de-France.

## Projet soutenu financièrement par :



## Partenaires du projet

### Pilote du projet :

Agro-Transfert  
Ressources et Territoires



### Autres partenaires :



# Méthode

La constitution d'un réseau de parcelle permet de comparer les mesures faites sur ce réseau aux simulations de ces parcelles, pour ajuster les sorties sur les types de sol présentant des incohérences.

## Contexte pédoclimatique

Le réseau de parcelles constitué est réparti sur le métaterritoire picard, principalement autour des Bassins d'Alimentation de Captages (BAC) du projet Innovagr'Eau (Figure 1) : Puiseux-le-Hauberger (60), Landifay-et-Bertaignemont (02), Poix-de-Picardie (80) (ci-dessous).

Tableau 1 : Liste des pédoclimats et systèmes de cultures suivis et simulés avec SYST'N au cours du projet.

| Communes               | Type de sol              | Type de système            |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Neuilly en Thelle (60) | Limon argileux profond   | Betteravier diversifié     |
| Ully St George (60)    | Cranette                 | SCOP                       |
| Ully St George (60)    | Cranette                 | SCOP                       |
| Puiseux le H. (60)     | Cranette                 | SCOP                       |
| Puiseux le H. (60)     | Cranette                 | SCOP                       |
| Landifay-et-B. (02)    | Cranette                 | Betteravier spécialisé     |
| Landifay-et-B. (02)    | Cranette                 | Betteravier spécialisé     |
| Landifay-et-B. (02)    | Limon calcaire sur craie | Betteravier spécialisé     |
| Landifay-et-B. (02)    | Limon calcaire sur craie | Betteravier spécialisé     |
| Landifay-et-B. (02)    | Limon argileux profond   | Betteravier spécialisé     |
| Landifay-et-B. (02)    | Limon calcaire sur craie | Betteravier spécialisé     |
| Lamaronde (80)         | Limon argileux profond   | Betteravier div. - éleveur |
| Bettembot (80)         | Limon argileux à silex   | Betteravier div. - éleveur |
| Orival (80)            | Limon argileux à silex   | Betteravier div. - éleveur |
| Lamaronde (80)         | Limon argileux profond   | Betteravier div. - éleveur |

## Prélèvements de sols et plantes

Le référencement GPS est réalisé sur un point par modalité dans une zone représentative de la parcelle pour revenir au même point chaque année. L'échantillonnage pour les analyses de terre et les reliquats azotés ont lieu dans un rayon de 10m autour de ce point chaque année, avec séparation des horizons 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm.

Les cultures sont prélevées quelques jours avant récolte ou destruction, bien qu'il soit conseillé pour le colza notamment d'effectuer les prélèvements au maximum d'absorption de l'azote, soit le stade G4. Le point de prélèvement est défini à proximité du point GPS des reliquats. La surface de prélèvement, homogène, s'adapte au cas de la culture à prélever (ci-dessus) :

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Céréales & couverts intermédiaires | Cadrat 0.25m <sup>2</sup>                                 |
| Colza                              | 0.25m <sup>2</sup> , linéaires selon écartement des rangs |
| Maïs ensilage                      | Surface de 1.4 m <sup>2</sup>                             |
| Betterave                          | Surface de 3 m <sup>2</sup>                               |

## Paramétrage des situations

Pour le paramétrage de la rotation de chaque situation, l'outil distingue trois « catégories culturales » à renseigner : l'historique cultural, le précédent de la rotation et la rotation. Les données nécessaires sont notamment l'espèce cultivée, la date de semis et de récolte, son rendement (q/ha ou t/ha), le mode de gestion des résidus, les espèces intermédiaires, et les dates d'intervention de travail du sol et d'apport minéral et organique, ainsi que les profondeurs et/ou quantités considérées.

Pour les séries climatiques, plusieurs sources de données sont disponibles dont des données publiques européennes du JRC comme Agri4Cast (AG4C), disponibles de 1975 à l'année précédent l'année en cours. Afin de compléter les données météo nécessaires pour le fonctionnement de SYST'N pour l'année en cours et au-delà (2019-2030), un générateur stochastique de climat ou SWG (Cordano & Eccel, 2016) a été utilisé. Ce dernier permet de produire des projections climatiques de nature statistique, point par point, à partir de données quotidiennes précédemment observées, tout en conservant les propriétés statistiques des données, annuelles (comparaisons quantile-quantile, (Figure 2) et inter-sites.

Ces projections à très court terme poursuivent sans accélération le changement climatique tel qu'il est engagé depuis 15 ans.

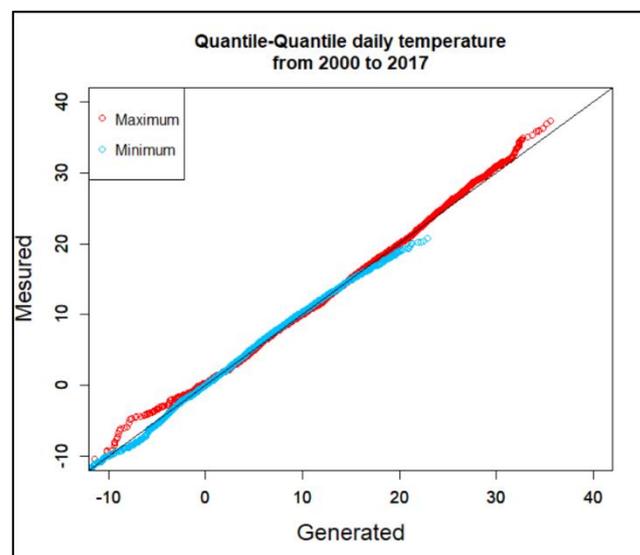


Figure 2 : Comparisons des distributions des données entre les températures générées par un générateur stochastique de climat (SWG) à partir de données des années 1975 à 2000, et les températures observées sur la même période pour une maille AG4C donnée, sur les années 2000 à 2017

Pour le paramétrage des sols, les analyses de terre ont fait foi, avec des compléments disponibles dans le guide des sols de l'Oise et la carte des sols de l'Aisne.

## Tests et sensibilité de l'outil

L'outil a été testé sur des cas types issus de plusieurs cas réels régionaux, notamment sur un système de culture SCOP type Colza-Blé-Orge, avec une fertilisation minérale raisonnée et fractionnée de 160 à 215uN annuelles.

Sur sol calcaire de type cranette sur craie du guide des sols de l'Oise, les quantités d'azote absorbé simulées sont :

- Correctes par rapport aux références GREN pour le colza : 200 à 240kgN/ha,
- Faibles pour les céréales, 85 à 150kgN/ha.

Et sur limon profond de type limon battant profond du guide des sols de l'Oise :

- Absorptions surestimées 300 à 400kgN/ha.

En conditions non-limitantes d'azote, l'eau représente le facteur limitant la bonne simulation des cultures.

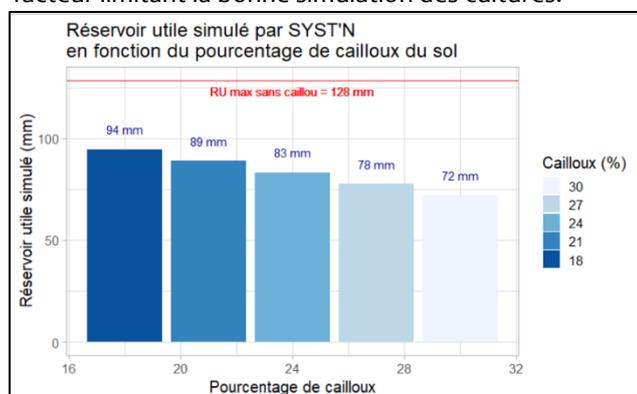


Figure 3 : Réservoir utile (RU) simulé par SYST'N selon 6 modalités de pierrosité. RU du guide des sols de l'Oise : 110 mm

## La simulation de l'eau du sol

L'état hydrique du sol (Figure 3) est simulé à l'aide de classes de pédo-transfert (Al Majou, et al., 2007), qui sont fonction de la granulométrie de la terre fine.

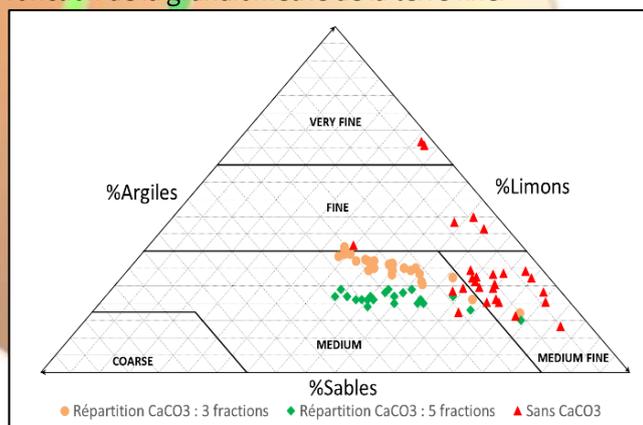


Figure 4 : Triangle de textures des classes de pédo-transfert (Al Majou et al., 2007) de SYST'N pour les différents horizons 0-30cm, 30-60cm et 60-90cm en conditions de cranette sur craie, pour les parcelles AdOu-SY, selon 3 conditions de répartition du calcaire (CaCO3) analysé dans les fractions granulométriques décarbonatées.

Afin de mieux prendre en compte la porosité des cailloux de craie dans la simulation de l'état hydrique du sol, le calcaire de ces cailloux, représentant 40 à 90% de la terre fine pour les analyses de sol du projet, a été réparti de manière homogène dans les 5 fractions granulométriques (Figure 4). La répartition sur les 3 fractions granulométriques utilisées en entrée dans SYST'N a également été testé. Les résultats obtenus vis-à-vis de la simulation de l'eau sont meilleurs avec une répartition sur 5 fractions. Le broyage des cailloux de craie est ainsi fortement conseillé avant l'analyse de terre qui fournira les données entrées « sol » nécessaires pour utiliser SYST'N version 1.4.

## Sorties après ajustements

La première analyse des simulations confirme l'excès d'absorption du colza, causé par un reliquat incompressible sous colza trois fois plus faible que pour les autres cultures. Après correction, le biais entre observés et simulés est de 17 unités d'azote, avec une erreur relative (RRMSE) de 59%, proche du coefficient de variation de 63% pour les mesures d'azote minéral total sur 90cm de profondeur. De manière générale, la simulation est plus efficace lorsqu'elle est initialisée à partir d'un reliquat connu, notamment pour estimer le reliquat azoté début drainage sur 90cm.

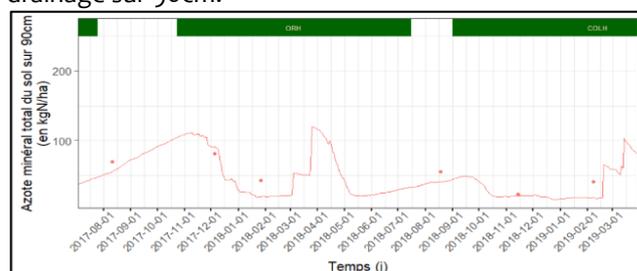


Figure 7 : Exemple de comparaison en l'azote du sol simulé par SYST'N version 1.4 révisée et les points de reliquat effectués sur la parcelle simulée, dans le cas d'une cranette sur craie à silex.

## Facteurs statistiques explicatifs

L'écart entre l'azote minéral du sol sur 90cm simulé et observé semble, par ACP, mieux corrélé aux variables d'humidité qu'aux variables de minéralisation, et légèrement anti-corrélé à l'écart obtenu entre l'humidité du sol observée et simulée.

Une forêt aléatoire permet de piloter l'analyse par des données non-normalisées, et de classer les variables en fonction du pourcentage de variance expliquée. Qu'elle soit de classement ou d'interprétation, les variables les plus explicatives sont liées soit à la minéralisation : azote total, cumul d'azote minéralisé entre deux dates de mesure, teneur en argiles décarbonatées et en calcaire ; soit aux pertes azotées : cumul d'azote perdu entre deux dates de mesure par dénitrification, volatilisation ou lixiviation ; soit à l'humidité du sol.

# Bilan et perspectives

## L'ajustement de la granulométrie

En attendant l'ajout dans SYST'N d'une fonction de pédotransfert pour prendre en compte la porosité des cailloux paramétrés (Tétégan, et al., 2014), la prise en compte de la granulométrie de la craie et la répartition du calcaire dans les cinq fractions granulométriques permet de mieux prendre en compte sa participation au réservoir utile et aux flux d'eau du sol.

## Des cas-types mieux simulés

Les données observées sur les cas-réels suivis au champ concordent assez bien avec les simulations de cas-types issus des cas-réels suivis (Figure 5 : Exemple de comparaison en l'azote du sol simulé par SYST'N version 1.4 révisée et les points de reliquat effectués sur la parcelle simulée, dans le cas d'une cranette sur craie à silex.

). Ceci est particulièrement vrai pour les limons argileux profonds, et les cranettes sur craie blanche, bien représentés dans les pédoclimats des parcelles suivies. Un réseau de parcelles plus vaste avec une meilleure représentativité de chaque cas-type aurait permis de meilleurs résultats. Quoiqu'il en soit, le travail avec SYST'N sur des cas-types semble donc tout à fait pertinent.

## Des acteurs de la région formés à l'utilisation de l'outil SYST'N

Les actions de formation ont concerné 20 stagiaires d'horizons différents sur deux journées de formation : bureaux d'étude, syndicat d'eau, coopératives agricoles, station expérimentale, et chambres d'agriculture impliqués soit dans le conseil agricole, soit dans le conseil sur la fertilisation organique, soit dans le conseil sur l'eau et environnement. Ces formations ont bénéficié de l'appui d'UniLasalle Beauvais pour la présentation de cas-types pédagogiques en cours d'élaboration issus du projet AgroEcoSYST'N.

La poursuite de l'utilisation et de la valorisation de SYST'N et de ses sorties se poursuit dans des projets Agro-Transfert, notamment sur la gestion de l'azote par les résultats, dont ceux sur l'azote potentiellement lessivable en début drainage. Une des premières actions de l'automne 2019, anticipant ce projet, était la simulation, avec les chambres d'agriculture des Hauts-de-France, d'une période propice au prélèvement d'un reliquat début drainage pour les différents pédoclimats des zones d'action renforcée concernées. Ces préconisations ont été réalisées via des cas-types simulées sous SYST'N (version 1.4), avec une réactualisation régulière des conditions météorologiques et une projection à court terme du climat de l'hiver 2019-2020.

### Pour citer ce document :

Mouny JC (2019), Résumé du projet « Amélioration de l'Outil SYST'N pour le pédoclimat des Hauts-de-France », « Les 4 pages du RMT Fertilisation et environnement », 4p.

### Plus d'informations sur le RMT Fertilisation & Environnement :

<http://www.rmt-fertilisationetenvironnement.org/>

### Contacts :

AGRO-TRANSFERT :

Jean-Christophe Mouny, chef de projet  
jc.mouny@agro-transfert-rt.org