

Results Pack de CORDIS sur les engrais

Une collection thématique des résultats de la recherche innovante financée par l'UE

Avril 2023

Une recherche innovante pour une gestion durable des nutriments



Table des matières

3

Une agriculture durable grâce à la biolixiviation dans l'exploitation minière écologique

6

Les techniques d'agronomie circulaire au service d'une série de scénarios agricoles

9

Des microalgues fixatrices d'azote produisent un engrais organique de qualité

11

Identifier les microbes capables de stimuler la croissance des plantes dans les sols salins

13

Une technologie mobile transforme les déchets organiques en engrais

15

Vers un secteur agricole plus efficace en termes de carbone et de nutriments

17

Absorber les engrais phosphatés des eaux usées agricoles

19

Créer des sols plus productifs avec moins d'engrais

21

Créer des engrais avec de l'air... et du fumier

23

Aider l'Europe à protéger l'eau et les nutriments

25

Introduire des engrais durables sur le marché

27

Un nouveau traitement pour mieux recycler le fumier animal

29

Une approche d'économie circulaire pour le traitement des eaux usées

Éditorial

Une recherche innovante pour une gestion durable des nutriments

Les engrais jouent un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire. Leur production et leur coût dépendent essentiellement de la disponibilité du gaz naturel et, à la suite de l'invasion de l'Ukraine par la Russie, le monde est confronté à une crise des engrais qui fait grimper les prix des denrées alimentaires. Ce Results Pack sur les engrais présente 13 projets de recherche financés par l'UE qui peuvent contribuer à atténuer les pressions exercées sur les agriculteurs et les consommateurs, grâce à la synthèse, à l'utilisation et à la récupération innovantes des engrais et à une meilleure gestion des nutriments.

Si la pratique de l'agriculture par l'homme remonte à plus de 10 000 ans, elle a été révolutionnée il y a un siècle par l'innovation des engrais chimiques de synthèse. Aujourd'hui, ces intrants transformateurs sont menacés, nécessitant une nouvelle révolution agricole.

En novembre 2022, la Commission européenne a présenté une [communication sur la disponibilité et l'accessibilité financière des engrais](#), soulignant la nécessité de renforcer la résilience et la durabilité globales de nos systèmes alimentaires.

La recherche et l'innovation menées dans le cadre d'Horizon 2020 et de son successeur Horizon Europe sont des moteurs essentiels pour réduire la dépendance à l'égard des importations d'engrais, améliorer l'efficacité de l'utilisation des engrais et réduire les pertes de nutriments, garantissant ainsi la fertilité des sols et l'accessibilité des denrées alimentaires.

En créant des sols sains, riches en matière organique et en biodiversité, en optimisant l'efficacité de l'utilisation des engrais et en améliorant la récupération des nutriments à partir de flux secondaires riches en nutriments tels que le fumier, les déchets alimentaires ou les boues d'épuration, les agriculteurs européens peuvent produire des cultures plus saines et des rendements plus élevés tout en réduisant l'impact et en augmentant la résilience au changement climatique.

En outre, l'intégration de la culture et de l'élevage, les méthodes de production d'engrais plus respectueuses de l'environnement (y compris l'utilisation d'hydrogène vert), la diversification des cultures et les races végétales agroécologiques contribuent à réduire la dépendance de l'UE à l'égard des engrais minéraux et fossiles. Les solutions fondées sur le marché sont également essentielles à un système agricole plus durable, comme [le règlement de l'UE sur les fertilisants](#) de 2019 qui a instauré un marché unique pour les engrais organiques, facilitant ainsi les échanges entre les États membres de l'UE.

Une Europe plus propre et plus verte

Pourtant, l'amélioration de la gestion des nutriments ne se limite pas à défendre notre système agricole. Dans la lignée du [pacte vert pour l'Europe](#), la [nouvelle politique agricole commune](#) prévoit des activités visant à réduire les émissions dues à l'utilisation d'engrais dans le cadre de l'action globale contre le changement climatique. La réduction de l'utilisation des engrais s'inscrit également dans le cadre de la [communication sur la sécurité alimentaire](#) adoptée en mars 2022, de la [stratégie «De la ferme à la table»](#), de l'initiative [REPowerEU](#) sur l'indépendance énergétique et des objectifs du plan d'action de l'UE: [«Vers une pollution zéro dans l'air, l'eau et les sols»](#).

La recherche et l'innovation pour la transition vers des sols sains et une gestion durable des sols sont soutenues par la mission de l'UE [«Un pacte sur les sols pour l'Europe»](#). Le [Partenariat européen pour l'innovation pour le développement durable de l'agriculture](#) (PEI-AGRI) promeut l'innovation, l'échange de connaissances, l'éducation et la formation afin de garantir la résilience et la compétitivité des exploitations agricoles.

La recherche et l'innovation financées par l'UE accélèrent la transition de l'Europe vers des systèmes agricoles durables, résilients, circulaires et compétitifs.

Une agriculture durable grâce à la biolixiviation dans l'exploitation minière écologique

Le processus de biolixiviation favorisé par les bactéries de BioRevolution permet non seulement d'extraire des ressources minérales de manière plus écologique, mais aussi de produire des biostimulants bénéfiques pour la santé des plantes.

L'exploitation minière et l'agriculture doivent toutes deux relever des défis considérables sur le plan de la durabilité.

L'exploitation minière utilise souvent des produits chimiques dangereux pour extraire les métaux, ce qui engendre une pollution

de l'environnement. De plus, l'Europe se retrouve tributaire des importations en raison du sous-investissement dans les innovations visant à mieux exploiter les ressources primaires et secondaires locales.



Entre-temps, l'utilisation généralisée des pesticides et des herbicides chimiques dans l'agriculture détruit les microbiomes du sol, ce qui a pour corollaire la réduction des nutriments disponibles pour les plantes. Les agriculteurs compensent généralement ce phénomène par l'utilisation d'engrais chimiques qui pénètrent dans les nappes phréatiques par lessivage et contaminent ainsi les aliments et l'eau potable.

«[Un tiers des terres agricoles mondiales étant gravement dégradées](#), nous avons affaire à un cercle vicieux. Il est urgent de trouver de nouvelles solutions viables», fait remarquer Darina Štyriaková, coordinatrice du projet BioRevolution (Biosolution for global mineral crisis and increased food production without chemicals) et PDG de [ekolive](#), l'hôte du projet.



Notre innovation naturelle destinée à l'exploitation minière donne aux résidus industriels une seconde vie en tant que biostimulants, ce qui est une excellente nouvelle pour l'agriculture durable et l'économie circulaire !

Ce projet soutenu par l'UE relève ce double défi grâce à une biotechnologie brevetée (InnoBioTech®) qui reproduit le processus naturel d'altération microbienne des minéraux.

Cette technologie, la plus complète de sa catégorie, a été [certifiée ETV](#) et a également remporté le prix de la durabilité décerné par la [WUR](#). Deux produits biostimulants, baptisés ekofertile et microfertile, ont déjà été mis sur le marché de l'agriculture biologique.

«Notre innovation naturelle destinée à l'exploitation minière donne aux résidus industriels une seconde vie en tant que biostimulants, ce qui est une excellente nouvelle pour l'agriculture durable et l'économie circulaire», explique Darina Štyriaková.

Donner un coup de pouce à la nature

Après avoir identifié et collecté les bactéries les plus efficaces pour assurer l'altération accélérée des minéraux, l'équipe a élaboré une technique brevetée visant à multiplier rapidement ces bactéries. Celles-ci dissolvent les minéraux contenus dans les matières premières, créant des lixiviats qui sont ensuite traités pour former des nutriments liquides.

Une fois appliquées aux déchets de sable de silice, les bactéries probiotiques dissolvent les minéraux pour n'en laisser que de la silice pure et résistante, utile pour la fabrication de verre ou de céramique, par exemple. Les minéraux dissous (tels que le fer, le manganèse, le silicium, le cobalt et le magnésium), ainsi que les acides organiques et les protéines sont une source de métabolites biostimulants pour ekofertile.

«Ekofertile revitalise les plantes malades et renforce leur immunité contre les agents pathogènes et la résistance aux températures élevées. Il accroît également le rendement, tout en améliorant le système racinaire et la teneur en sucre des fruits», précise Darina Štyriaková.

Le second produit, microfertile, repose sur la lixiviation de résidus de roches silicifiées, qui abritent une abondance d'autres micro-organismes bénéfiques et leurs métabolites, et contient tous les [17 éléments nutritifs essentiels aux plantes](#).

«Microfertile augmente la chlorophylle et stimule la photosynthèse grâce à des protéines antigel qui empêchent les dommages par le gel. Un plus grand apport en nutriments entraîne une multiplication du nombre de bourgeons et de feuilles, ce qui améliore la qualité et le rendement des plantes», ajoute Darina Štyriaková.

Les produits peuvent être soit pulvérisés sur les feuilles soit utilisés pour l'irrigation au goutte à goutte des racines, selon les préférences des exploitations agricoles.

Les fruits du travail des bactéries

Six installations de production implantées dans des pays d'Europe centrale ont mené des essais couronnés de succès de la gamme de produits de BioRevolution.

Selon Darina Štyriaková, «le rendement des tomates a triplé, leur résistance au stress abiotique augmentant jusqu'à une température de 35 degrés centigrades. Les pommes de terre étaient plus grosses, indemnes d'infections et prêtes à être commercialisées deux semaines plus tôt, en plus de produire des rendements accrus de 50 %. Le rendement des fraises a bondi de 60 % sans utilisation de pesticides, celles-ci affichant 150 % de sucre en plus et une viabilité commerciale après une année de croissance. Nous avons enregistré des succès similaires chez environ 70 autres plantes.»

La méthode BioRevolution exploite uniquement de grands bassins, et non des bioréacteurs, ce qui lui permet d'être évolutive et d'avoir une consommation d'énergie nulle. Ce procédé est également rapide, car il ne nécessite que deux à sept jours de traitement pour produire environ 10 milliards de bactéries actives dans un litre de biostimulant.

«Notre technologie ne fait rien d'autre que d'accélérer un processus naturel afin qu'il se produise en l'espace de quelques jours ou semaines au lieu de quelques décennies», fait remarquer Darina Štyriaková.

Une technologie bonne à tout faire

Offrant un large éventail d'applications possibles, la technologie de BioRevolution contribue directement au [pacte vert pour l'Europe](#), qui vise à réduire de moitié l'utilisation des substances agrochimiques d'ici à 2030.

«Outre le fait qu'elle permet aux agriculteurs d'accroître leurs bénéfices, notre solution contribue au renforcement de la sécurité alimentaire, aux économies d'eau, à la fixation du CO₂, à la décontamination des sols et au renouvellement de la biodiversité», explique Darina Štyriaková.

Cette technologie étant désormais arrivée à maturité, l'équipe s'emploie à nouer des partenariats et à préparer la mise sur le marché de sa solution. «Notre objectif étant de susciter un changement de mentalité chez de nombreux agriculteurs déçus par les précédents produits biologiques de substitution, nous collaborons d'abord avec de grandes entreprises. Heureusement, [les performances de notre produit parlent d'elles-mêmes](#)», conclut Darina Štyriaková.

PROJET

BioRevolution – Biosolution for global mineral crisis and increased food production without chemicals

COORDONNÉ PAR

ekolive en Slovaquie

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/101071680/fr

SITE WEB DU PROJET

ekolive.eu



Les techniques d'agronomie circulaire au service d'une série de scénarios agricoles

Une gestion plus efficace des nutriments et du carbone accroît le recyclage des déchets et stimule la fertilité des sols tout en réduisant les émissions de l'industrie agroalimentaire européenne.



© torwaiphotostock.adobe.com

L'agriculture repose sur des sols composés d'un mélange sain de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium. Or, les pratiques agricoles, telles que l'utilisation d'engrais, s'avèrent souvent inefficaces.

À l'échelle mondiale, près d'un cinquième seulement des composés azotés deviennent des produits utiles. Les 80 % restants sont perdus sous forme de déchets, appauvrissant la qualité de l'air, de l'eau et des sols, tout en menaçant la biodiversité et en contribuant à l'accélération du changement climatique.

De même, étant donné que le phosphate naturel ne se trouve que dans un nombre limité de pays (dans l'UE, seule la Finlande possède des gisements importants), l'UE importe davantage de phosphates qu'elle n'en exporte. En raison de l'inefficacité des pratiques agricoles actuelles, de grandes quantités de phosphates s'accumulent également dans l'eau et le sol sous forme de déchets.

«La récupération et la réutilisation des nutriments et du carbone issus de différents flux de déchets agroalimentaires réduisent la dépendance à l'égard des engrais minéraux et des combustibles fossiles. Cette démarche est bénéfique pour l'environnement, l'économie circulaire et la sécurité agroalimentaire de l'UE à long terme», explique Victor Riau, coordinateur du projet [Circular Agronomics](#) (Efficient Carbon, Nitrogen and Phosphorus cycling in the European Agri-food System and related up- and down-stream processes to mitigate emissions), financé par l'UE.

Le projet a mis à l'essai une série de techniques d'agronomie circulaire dans le cadre de six études de cas européennes, chacune représentant différentes conditions biogéographiques et, partant, les différents défis que doit relever le secteur agroalimentaire de cette région.

L'équipe a mené des analyses de l'impact des stocks, flux et émissions d'azote, de phosphore et de carbone de ces six régions, et a interrogé 149 agriculteurs et 5 000 consommateurs afin de mieux comprendre leur relation avec les questions agroalimentaires et liées à l'acceptation des techniques d'agronomie circulaire.

«Nos [évaluations](#) des solutions agroalimentaires possibles sous des angles environnemental (grâce à l'analyse du cycle de vie) et socio-économique apporteront un soutien fondé sur des données probantes à l'adoption de certaines de ces pratiques

de gestion circulaire des nutriments», explique Victor Riau, de [l'Institut de recherche et de technologie agroalimentaires](#), en Espagne.

Boucler les boucles dans six études de cas

Les études de cas menées dans le cadre du projet représentent une variété de climats – méditerranéen pour la Catalogne (Espagne) et l'Émilie-Romagne (Italie); continental pour le Brandebourg (Allemagne); alpin pour le Lungau (Autriche); atlantique pour la Gueldre (Pays-Bas); et continental chaud pour la Moravie du Sud (Tchéquie) – chacun présentant des caractéristiques et des défis agricoles uniques.

Pour prendre l'élevage laitier en guise d'exemple, la Catalogne méditerranéenne représente une approche d'agriculture intensive de l'élevage de ruminants et de la production fourragère. En appliquant des techniques d'alimentation de précision dans une exploitation laitière, le projet a réduit d'environ 20 % l'excrétion d'azote ammoniacal, tout en réduisant les émissions d'ammoniac pendant le stockage du fumier. Le fumier a ensuite été utilisé pour fertiliser les champs de ray-grass, améliorant ainsi la teneur en protéines des cultures.

De son côté, l'étude de cas dans le Lungau alpin consistait en une approche d'agriculture extensive. Les effets de deux stratégies d'alimentation sur la production de méthane des vaches laitières ont été testés: une stratégie traditionnelle (ensilage d'herbe, ensilage de maïs, foin, environ 25 % de concentrés) et le régime alimentaire «de Lungau» (ensilage d'herbe, foin, environ 10 % de concentrés). Ce dernier a été associé à une réduction de 23 % des émissions de méthane, tel que mesuré par une chambre respiratoire.

D'autres innovations déployées dans toutes les études de cas ont également permis de récupérer l'azote, le phosphore et le carbone à partir du fumier de bétail et des déchets alimentaires. Des engrais biologiques ont notamment été obtenus à partir de digestats en séparant le fumier en une fraction solide et une fraction liquide.

«Le séchage solaire et l'acidification de la fraction solide ont permis de récupérer environ 1,3 fois plus d'azote ammoniacal, réduisant ainsi de 72 à 94 % les émissions d'ammoniac pendant le processus de séchage. La fraction liquide a été microfiltrée pour en dégager un engrais liquide et lavée pour récupérer l'azote sous forme de sulfate d'ammonium, un engrais inorganique. Lors de tests dans des rotations culturales, les engrais biologiques créés ont permis d'atteindre les mêmes rendements que les engrais minéraux», ajoute Victor Riau.



La récupération et la réutilisation des nutriments et du carbone issus de différents flux de déchets agroalimentaires réduisent la dépendance à l'égard des engrais minéraux et des combustibles fossiles.

En outre, l'équipe a eu recours à des techniques d'imagerie hyperspectrale afin d'analyser le profil des sols des études de cas, cartographiant la distribution, la stabilité et la biodisponibilité du carbone, de l'azote et du phosphore, après application d'une série de techniques de valorisation.

Pour le bénéfice d'une panoplie de stratégies de l'UE

Le projet Circular Agronomics s'aligne sur de nombreuses stratégies européennes, telles que la stratégie [De la ferme à la table](#) (et son objectif de réduire de 50 % les pertes de nutriments le long de la chaîne agroalimentaire d'ici 2030) et le [pacte vert pour l'Europe](#), aux côtés de la [directive «nitrates»](#) et du [nouveau règlement sur les produits fertilisants](#).

Après analyse des politiques actuelles, les [recommandations politiques dans le domaine agroalimentaire](#) (publication imminente) élaborées dans le cadre du projet mettent en lumière le soutien apporté aux agriculteurs afin qu'ils investissent dans des technologies et des pratiques durables, ainsi que le meilleur accès à l'information et la plus grande sensibilisation des consommateurs.

«Nous nous attachons désormais à mettre ces technologies sur le marché. Certaines pratiques, comme le séchage solaire du fumier et du digestat et la microfiltration de la fraction liquide, sont presque prêtes à être commercialisées. D'autres doivent encore être davantage optimisées et développées», conclut Victor Riau.

PROJET

Circular Agronomics – Efficient Carbon, Nitrogen and Phosphorus cycling in the European Agri-food System and related up- and down-stream processes to mitigate emissions

COORDONNÉ PAR

Institut de recherche et de technologie agroalimentaires en Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/773649/fr

SITE WEB DU PROJET

circularagronomics.eu



Des microalgues fixatrices d'azote produisent un engrais organique de qualité

La biotechnologie circulaire du projet Cyanobacteria, intégrée dans son système de gestion AlgaeNite, produit un engrais biologique liquide propre et de haute qualité qui permet de maintenir au même niveau le rendement des cultures sans émettre la moindre émission.



À l'heure actuelle, les engrais font obstacle à une agriculture plus durable et à la sécurité alimentaire européenne. Les engrais inorganiques (engrais minéraux) sont fabriqués à partir d'ammoniac synthétique, qui peut être nocif pour la santé. Qui plus est, les grandes quantités d'énergie nécessaires à la production d'engrais à base d'ammoniac proviennent généralement de sources fossiles préjudiciables au climat.

Les 150 millions de tonnes d'ammoniac produites dans le monde en 2010 ont généré plus de [450 millions de tonnes de CO₂](#), soit environ 1 % des émissions de CO₂. Les engrais à base d'ammoniac peuvent également nuire à la fertilité des sols au fil du temps. Pour aggraver encore la situation, l'approvisionnement européen en engrais minéraux a été fortement bouleversé par la guerre en Ukraine, car une grande partie de ceux-ci était importée de Russie.

Cela dit, les produits organiques plus respectueux de l'environnement s'avèrent souvent inadéquats. En effet, lorsque ces produits sont intégrés dans des systèmes de [fertigation](#), leur

teneur en azote, souvent faible, n'est pas facilement disponible pour les végétaux. Le fumier animal ou les eaux usées peuvent également être porteurs de métaux lourds toxiques et d'agents pathogènes, ainsi que de résidus d'hormones et d'antibiotiques.

«Plus onéreux que les engrais chimiques tout en affichant un rendement moindre, les engrais organiques ne représentent tout simplement pas un substitut commercial pour le secteur en pleine effervescence de l'agriculture de précision», explique Lior Hessel, coordinateur du projet Cyanobacteria (Developing an organic fertilizer production system using nitrogen fixing Cyanobacteria), financé par l'UE.

Le projet a mis au point une biotechnologie reposant sur l'utilisation des cyanobactéries ou [algues bleu-vert](#) et alimentée par les rayons du soleil qui produit un engrais liquide biologique de haute qualité. Le processus est géré par la technologie de surveillance du projet, baptisée AlgaeNite.

«En plus de favoriser la croissance des plantes, notre production d'engrais ne génère quasiment aucune pollution et, grâce à nos besoins réduits en électricité assurés par des énergies renouvelables, elle est pratiquement neutre sur le plan des gaz à effet de serre», ajoute Lior Hessel, de la société Go Green FoodTech (connue mondialement sous le nom de [Growponics](#)), hôte du projet et pionnière de [l'hydroponie](#).

La technologie des microalgues

Les cyanobactéries (microalgues bleu-vert) sont d'abord cultivées dans des photobioréacteurs automatisés sensibles à la lumière, qui peuvent être installés sur les sites agricoles où l'engrais est nécessaire, ce qui réduit le transport et, partant, les coûts et les émissions.

Alimentées par l'énergie du soleil, les cyanobactéries «fixent» l'azote de l'air et le synthétisent sous une forme stable d'ammonium, qui est ensuite extrait et oxydé par des bactéries de nitrification en vue de produire le nitrate nécessaire à l'engrais. Cette approche permet d'éviter toute répercussion nuisible sur l'environnement, car l'eau nécessaire à la croissance des microalgues est recyclée, et le CO₂ émis dans le cadre du procédé d'oxydation est réutilisé pour le développement des algues.

L'équipe a mené des tests sur la quantité d'ammonium, de nitrate et d'autres minéraux essentiels et a constaté que le flux brut de leur réacteur contenait plus de 2 400 parties par million d'ammonium, une fraction qui peut être concentrée entre 2 % et 5 % pour en faire un produit final.

«Nous produisons également une plus grande quantité "d'azote disponible", le type d'azote nécessaire à la croissance des plantes, que les engrais organiques classiques», fait remarquer Lior Hessel. «Le rendement de nos cultures cultivées avec l'aide d'engrais biologiques est aussi bon que celui des cultures cultivées au moyen d'engrais chimiques de haute qualité. Cette performance contraste avec celle des engrais organiques traditionnels, qui font baisser la production des cultures de 35 %».

Surveillance à des fins d'optimisation

Afin de tester la capacité opérationnelle de la technologie à fertiliser des quantités commerciales de cultures sous serre, l'équipe a construit un photobioréacteur de 3 000 litres dans l'installation de [Growponics](#) à Kfar Bialik, en Israël.

Depuis près d'un an, cette installation produit suffisamment d'engrais (avec une teneur en azote d'environ 2 500 parties par million) pour alimenter de manière permanente une unité hydroponique d'environ 800 mètres carrés, ce qui démontre

la capacité de cette méthode à favoriser les économies d'eau dans l'agriculture.

Le projet a également mis au point un système de gestion, baptisé AlgaeNite. Ce système, composé d'un robot bardé de capteurs et de caméras ainsi que d'un logiciel dédié, collecte et téléverse des données sur l'état des bioréacteurs. Ces données sont ensuite analysées par une intelligence artificielle, et les résultats et prédictions sont présentés aux utilisateurs finaux afin d'étayer leurs prises de décisions.

«Notre solution de gestion automatisée peut être commandée à distance, ce qui aide les utilisateurs à optimiser le traitement des bioréacteurs», ajoute Lior Hessel. Le prototype du robot ayant été testé avec succès, il va maintenant être fabriqué à Kfar Bialik en vue de son intégration dans de futures installations de bioréacteurs.

Mise en service

L'équipe a déjà enregistré deux commandes pour des installations bêta: l'une par une pépinière de propagation commerciale en Israël, l'autre d'une ferme Growponics américaine visant à aider ses clients (de grandes entreprises agroalimentaires) à répondre à la demande de produits biologiques.

L'équipe prévoit à présent de construire une installation commerciale grandeur nature, comprenant à la fois un site de production semi-commerciale d'engrais biologiques et un campus de recherche et de développement à Shaar Efraim, en Israël.



En 2010, la production mondiale d'ammoniac a généré plus de 450 millions de tonnes de CO₂, soit environ 1 % des émissions annuelles.

PROJET

Cyanobacteria – Developing an organic fertilizer production system using nitrogen fixing Cyanobacteria

COORDONNÉ PAR

Go Green FoodTech en Israël

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-LEIT, Horizon 2020-Societal Challenges and Horizon 2020-SME

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/961930/fr

Identifier les microbes capables de stimuler la croissance des plantes dans les sols salins

Les bactéries bénéfiques sont pleines de promesses pour réduire le recours aux engrais, mais leurs souches doivent être adaptées au sol destiné à les accueillir. L'identification de ces souches peut aider l'agriculture européenne à prendre la voie d'un avenir plus durable.



Les [rhizobactéries favorisant la croissance des plantes](#) (RFCP) sont des micro-organismes bénéfiques qui vivent dans le sol adjacent aux racines des plantes, ainsi qu'à la surface des racines et à l'intérieur des tissus racinaires. Il est de plus en plus reconnu que ces organismes peuvent contribuer à apporter aux plantes les éléments dont elles ont besoin pour croître, comme le font les engrais minéraux.

«Par exemple, les RFCP peuvent fixer l'azote de l'air et décomposer les protéines», explique Agnieszka Kalwasińska, coordinatrice du projet NitroFixSal (N fixing bacteria from extreme environments as a remedy for nitrogen deficiency in saline soils), de [l'université Nicolas-Copernic](#), en Pologne. «Ce processus fournit une source d'ammonium au sol.»

Les RFCP produisent également des phytohormones qui stimulent le développement des plantes ainsi que des enzymes capables de décomposer les parois cellulaires des champignons, protégeant ainsi les plantes des agents pathogènes.

Réduire l'utilisation des engrais minéraux et des pesticides

Cette situation offre une excellente occasion de réduire l'utilisation des engrais minéraux et des pesticides en exploitant le potentiel de ces bactéries naturelles. Pour connaître le succès à l'échelle commerciale, les scientifiques doivent toutefois parvenir à identifier et à isoler des espèces de bactéries affichant des taux de survie suffisants et utiliser des quantités adaptées au type de sol et à l'espèce végétale.

Cette démarche pourrait revêtir une grande importance pour des raisons économiques et environnementales. Le prix des engrais chimiques, notamment du nitrate d'ammonium, du phosphore et du potassium, est monté en flèche sous l'effet de la hausse des coûts du gaz naturel. De son côté, l'UE est obligée de restreindre l'utilisation de ces engrais afin d'atteindre ses [objectifs en matière d'écologie](#).

«Dans le cadre du projet NitroFixSal, nous avons choisi des bactéries aux propriétés RFCP provenant d'environnements salins extrêmes», explique Sweta Binod Kumar, une biotechnologiste également associée au projet. «Les micro-organismes naturellement adaptés à des conditions de salinité élevée sont effectivement plus efficaces à l'heure de favoriser la croissance des plantes soumises à un stress salin et de contribuer à accroître la biomasse végétale et renforcer la protection contre les agents pathogènes.»

Les souches RFCP extraites par l'équipe du projet ont fait l'objet d'études poussées afin de caractériser leurs propriétés RFCP. Ces souches ont été appliquées comme biostimulants afin d'améliorer la germination du blé dans des conditions de laboratoire.

«L'étape suivante a pris la forme d'une étude de terrain, dans le cadre de laquelle les souches sélectionnées ont été appliquées à un sol non stérile»,

ajoute Agnieszka Kalwasińska. «Enfin, les interactions entre les bactéries et les plants de blé ont été examinées à l'aide de méthodes moléculaires avancées. Cette démarche nous a permis de mieux comprendre les mécanismes de leur action.»

Identification des candidats potentiels d'engrais biologiques

Le projet NitroFixSal a démontré avec succès que les environnements salins sont une source précieuse de bactéries fixatrices d'azote dont le potentiel en termes de stimulation de la croissance des plantes est pluriel.

Plusieurs nouvelles souches ont été caractérisées. Deux souches bactériennes ont fait montre d'une très grande capacité à atténuer le stress salin chez les céréales. L'une d'entre elles a depuis lors été intégrée à la [Polish Collection of Microorganisms](#). Deux brevets visant l'isolat, ainsi que ses effets de stimulation de la croissance chez le blé, sont prêts à être soumis à l'Office polonais des brevets.

«Ces RFCP isolées sont désormais des candidates potentielles pour les engrais biologiques», fait remarquer Agnieszka Kalwasińska. «Celles-ci pourraient, à terme, s'avérer particulièrement intéressantes pour les agriculteurs qui essuient des pertes de rendement de leurs cultures imputables aux conditions de forte salinité de leurs sols.»

Les données générées par le projet permettront également aux chercheurs de mieux comprendre les interactions plante-RFCP au niveau moléculaire. Les chercheurs espèrent découvrir des activités de croissance des plantes moins connues, qui pourraient déboucher sur le développement de nouvelles formulations de biostimulants et d'outils permettant de concevoir de nouvelles stratégies de sélection.

«Notre projet cherche tout particulièrement à contribuer à l'agriculture durable», déclare Agnieszka Kalwasińska.



Les micro-organismes naturellement adaptés à des conditions de salinité élevée sont effectivement plus efficaces à l'heure de favoriser la croissance des plantes soumises à un stress salin.

PROJET

NitroFixSal – N fixing bacteria from extreme environments as a remedy for nitrogen deficiency in saline soils

COORDONNÉ PAR

Université Nicolas Copernic en Pologne

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-Spreading excellence; widening participation

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/101038072/fr

Une technologie mobile transforme les déchets organiques en engrais

Une technologie créée par des chercheurs de l'UE permet aux agriculteurs et aux usines de biogaz de disposer de l'équipement nécessaire pour convertir le digestat en engrais. Elle pourrait contribuer à réduire les déchets qui finissent à la décharge et permettre à l'agriculture européenne d'adopter des pratiques plus durables et plus circulaires.

La [digestion anaérobie](#) décrit un processus industriel dans le cadre duquel des microbes sont utilisés pour décomposer la matière organique, produisant ainsi du biogaz renouvelable. À la fin du processus, il reste une matière riche en nutriments et en microbes appelée digestat.

«Le digestat est un engrais liquide qui contient de précieux nutriments et fibres récupérés qui peuvent soutenir la croissance des cultures», explique Kyriakos Panopoulos, coordinateur du projet [NOMAD](#) (Novel Organic recovery using Mobile ADvanced technology), rattaché au [Centre de recherche et de technologie Hellas](#) en Grèce.

«Les caractéristiques de ce digestat tiennent à la source de matière première d'origine, ainsi qu'au processus en lui-même».

Le fait que le digestat brut doive encore être traité pour être transformé en engrais biologiques capables de procurer des bénéfices aux sols sans porter atteinte à l'environnement constitue un défi de taille. Ce traitement n'est pas toujours possible pour les agriculteurs ni même pour les centrales de digestion, car ils ne disposent souvent pas de l'équipement nécessaire pour répondre aux normes de qualité et de sécurité en vigueur.



De plus, la production de grandes quantités de digestat peut engendrer de gros problèmes de gestion pour les petites usines de biogaz, en termes de stockage, d'utilisation et d'élimination. Étant donné que les politiques de l'Europe relatives au climat, aux déchets, à l'énergie et à l'agriculture cherchent désormais toutes à atteindre la circularité, il est devenu impératif de surmonter ces problèmes techniques.

Une solution mobile pour des engrais durables

Le projet NOMAD, financé par l'UE, a été lancé spécialement dans le but de relever ces défis. Il avait pour ambition de mettre au point une solution mobile, équipée de toutes les technologies nécessaires, qui permette de fournir directement aux agriculteurs des engrais et des amendements dérivés du digestat adaptés aux besoins de leurs sols et de leurs cultures.

«Notre idée était de développer une technologie de traitement modulaire et mobile capable de desservir plusieurs usines», explique Kyriakos Panopoulos. «Cette démarche permettrait de partager les coûts, rendant ainsi cette technologie plus viable sur le plan économique que l'installation de systèmes distincts dans chaque usine.»

Le projet a réuni des partenaires de Chine, de Grèce, d'Italie, de Malte, des Pays-Bas, de Roumanie et du Royaume-Uni. Dans un premier temps, l'équipe a mis au point des solutions techniques innovantes et à petite échelle capables de récupérer les fibres et des nutriments spécifiques du digestat afin de produire des engrais biologiques de haute performance.

Chaque étape du processus, de la pasteurisation à la récupération de chaleur en passant par la séparation du digestat et la récupération des nutriments, a ensuite été placée sur des remorques transportables. «L'objectif était de véritablement libérer le potentiel des nutriments et des fibres du digestat en vue de leur utilisation dans les engrais», ajoute Kyriakos Panopoulos. «Notre processus flexible et modulaire peut être adapté pour répondre aux défis régionaux.»

Accroître la viabilité des usines de biogaz

La solution NOMAD a été testée avec succès sur des sites pilotes en Grèce, en Italie, à Malte et maintenant

au Royaume-Uni. Ces tests ont démontré la polyvalence de cette technologie dans des régions géographiques, des climats et des conditions pédologiques différents. Ils ont également contribué à l'identification des goulets d'étranglement spécifiques en termes de digestats et de réglementation qu'il y a lieu de résorber.

«Nous avons montré que le procédé NOMAD était capable de traiter une large palette de digestats», précise Kyriakos Panopoulos. «Nous menons toujours actuellement des tests dans différentes usines de biogaz. D'un point de vue technique, la partie la plus compliquée du processus est la manipulation des solides et leur élimination des digestats.»

L'équipe du projet prévoit de boucler sa tournée des usines de biogaz au Royaume-Uni plus tard dans l'année. Une analyse du cycle de vie et un modèle commercial sont également en cours d'élaboration, ce qui permettra de commercialiser les applications les plus prometteuses.

«La stratégie de NOMAD pourrait imprimer des changements avant-gardistes concernant l'utilisation du digestat, en phase avec la [stratégie européenne en matière de bioéconomie](#)», déclare Kyriakos Panopoulos. «Elle permettra de pleinement capturer la valeur des déchets organiques en vue de leur réutilisation à l'échelon local et d'améliorer la viabilité économique des petites usines de biogaz.»



Le digestat est un engrais liquide qui contient de précieux nutriments et fibres récupérés qui peuvent soutenir la croissance des cultures.

PROJET

NOMAD – Novel Organic recovery using Mobile Advanced technology

COORDONNÉ PAR

Centre de recherche et de technologie Hellas en Grèce

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/863000/fr

SITE WEB DU PROJET

projectnomad.eu



Vers un secteur agricole plus efficace en termes de carbone et de nutriments

En s'efforçant de remédier aux déséquilibres nutritionnels dans le secteur agricole, les chercheurs contribuent à atténuer les émissions de gaz à effet de serre et la dégradation des sols.



© last191stock.adobe.com

L'agriculture européenne est souvent caractérisée par des déséquilibres au niveau des nutriments, dont un excès peut avoir une incidence délétère sur l'environnement. «Le secteur agricole d'aujourd'hui exerce une grande pression sur les nutriments primaires et l'énergie, ce qui crée des lacunes dans les cycles de l'azote, du phosphore et du carbone, et pose des défis environnementaux et économiques pour l'approvisionnement alimentaire de l'UE», explique Erik Meers, professeur à [l'université de Gand](#) et coordinateur du projet [Nutri2Cycle](#) (Transition towards a more carbon and nutrient efficient agriculture in Europe).

«Après utilisation, ces nutriments sont simplement mis au rebut, une pratique qui peut avoir des conséquences négatives sur la productivité des sols, la sécurité alimentaire et l'environnement», ajoute Çağrı Akyol, chef de projet et postdoctorant à l'université de Gand.

Avec le soutien du projet Nutri2Cycle, financé par l'UE, l'université de Gand pilote une initiative visant à boucler le cycle des nutriments. «Comblar les lacunes existantes dans le flux de nutriments en Europe contribuera à faire baisser les émissions de gaz à effet de serre, à réduire la dégradation des sols et à rendre

l'UE plus indépendante sur le plan de l'énergie et des nutriments», explique Erik Meers.

Réinjecter le carbone dans le sol

Pour commencer, les chercheurs se sont penchés sur les flux de nutriments et les techniques de gestion d'une série d'exploitations agricoles en Europe. Ils ont également défini des indicateurs permettant de surveiller et de démontrer les avantages environnementaux de boucles de nutriments fermées plus efficaces.

Sur la base de ces travaux, le projet a établi 14 cas pilotes innovants, appelés «[démonstrations phares](#)», pour tester l'intégration de différentes techniques agricoles susceptibles

de soutenir l'agriculture européenne sur la voie d'un avenir plus durable. Par exemple, en établissant un lien plus étroit entre la conception de l'élevage, les flux agricoles et la production végétale, les chercheurs ont pu aider les agriculteurs à séquestrer le carbone dans le sol.

«La création de meilleures synergies entre l'élevage et la production végétale ainsi que l'intégration de l'utilisation d'agro-résidus tels que la digestion anaérobie permettent d'améliorer considérablement la récupération de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles», fait remarquer Çağrı Akyol.

«Ces améliorations faciliteront le retour du carbone dans le sol et réduiront les émissions de gaz à effet de serre, démarche qui pourrait être combinée à la production d'énergie à des fins d'autoconsommation sur l'exploitation», fait remarquer Erik Meers.

Relever le défi de la sécurité alimentaire

Afin de mettre ces concepts en pratique, le projet a constitué des [groupes de travail nationaux](#) dans chacun des 12 pays partenaires. Ces groupes ont été chargés de transposer les résultats du projet dans le contexte local et dans la langue locale.

Piloté par l'université de Gand, le groupe s'attache également à évaluer les obstacles législatifs à la mise en œuvre des solutions les plus prometteuses du projet, et prodigue des conseils à la Commission européenne sur les recommandations politiques.

Plus récemment, le groupe a été invité par la Commission européenne à discuter de la manière dont la recherche et l'innovation permettent de relever le défi que constitue la sécurité alimentaire. «En utilisant la bonne quantité d'azote là où les plantes en ont le plus besoin, les engrais circulaires et biosourcés peuvent contribuer à atténuer les pertes de nutriments, stimuler la productivité des cultures et réduire les coûts pour les agriculteurs», explique Erik Meers.

Des techniques prêtes à être commercialisées

Nutri2Cycle a fait la promotion réussie de techniques et de pratiques de récupération et de recyclage des nutriments innovantes et prêtes à être commercialisées. En fait, en mars 2023, le projet aura publié des articles dans 38 publications du Science Citation Index Expanded (SCIE).

«Nous avons également proposé des solutions fondées sur des données factuelles et prêtes à l'emploi qui permettent d'assurer une meilleure gestion des nutriments et les avons traduites en recommandations politiques pratiques», conclut Çağrı Akyol.

Poursuivant sur la lancée du projet Nutri2Cycle, les chercheurs ont d'ores et déjà mis en place plusieurs nouveaux projets financés par l'UE, notamment [NutriBudget](#) et [Novafert](#), tous deux portant sur les activités liées à la récupération et au recyclage des nutriments.

PROJET

Nutri2Cycle – Transition towards a more carbon and nutrient efficient agriculture in Europe

COORDONNÉ PAR

Université de Gand en Belgique

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/773682/fr

SITE WEB DU PROJET

nutri2cycle.eu



Le secteur agricole d'aujourd'hui exerce une grande pression sur les nutriments primaires et l'énergie, ce qui pose des défis environnementaux et économiques pour l'approvisionnement alimentaire de l'UE.

Absorber les engrais phosphatés des eaux usées agricoles

Des chercheurs de l'UE ont développé des réseaux métallo-organiques à base de zirconium pour absorber les polluants des eaux usées agricoles et les réutiliser dans de nouveaux engrais.



© Africa Studio/stock.adobe.com

Bien qu'ils représentent une composante essentielle de l'agriculture moderne, les engrais chimiques sont loin d'être parfaits. «Non seulement les engrais traditionnels n'ont qu'une très faible efficacité, mais une majorité d'entre eux libèrent du phosphore dans le sol, ce qui a un impact négatif sur l'environnement et la santé humaine», explique Jorge Rodríguez Navarro, professeur à [l'université de Grenade](#).

Avec le soutien du projet PSust-MOF (Metal-Organic Frameworks as multifunctional materials toward P-sustainability), financé par l'UE, Jorge Rodríguez Navarro et son collègue et chercheur Francisco Carmona ont entrepris de créer une économie circulaire du phosphore.

«L'objectif principal du projet était de développer un adsorbant innovant capable de détoxifier les eaux usées agricoles en récupérant et en réutilisant les engrais phosphatés», explique Francisco Carmona.

Des réseaux métallo-organiques durables

Pour atteindre cet objectif, le projet, qui a bénéficié d'un soutien du [programme Actions Marie Skłodowska-Curie](#), a ciblé la nouvelle catégorie de matériaux poreux appelés réseaux métallo-organiques à base de zirconium, ou Zr-MOF, qui ont une affinité élevée avec les groupes phosphatés.

Mais les chercheurs ne voulaient pas simplement créer des Zr-MOF, ils voulaient également le faire de manière durable. «Les propriétés exceptionnelles des réseaux métallo-organiques en font des matériaux prometteurs pour de nombreuses applications», souligne Jorge Rodríguez Navarro. «Malheureusement, leur préparation implique généralement l'utilisation de solvants toxiques et elle se déroule dans des conditions difficiles.»

Les chercheurs ont dès lors démontré la faisabilité de synthétiser des Zr-MOF en recourant à une approche assistée par micro-ondes. Ce processus innovant utilise l'eau comme solvant et peut facilement et parfaitement moduler la taille des particules des matériaux qui en découlent.

«En rendant leur production industrielle plus simple, moins onéreuse et plus durable, ce processus facilitera l'utilisation réelle de ces matériaux», ajoute Francisco Carmona.

La capacité d'absorber les ions phosphates

En plus de développer un processus durable pour créer des matériaux Zr-MOF, le projet a également prouvé leur capacité à absorber efficacement les ions phosphates à des concentrations pertinentes. Dès que les ions phosphates sont collectés, ils peuvent être réutilisés dans l'élaboration de nouveaux engrais absorbant les phosphates.

«Nous avons montré que les Zr-MOF peuvent non seulement adsorber de manière réversible les ions phosphates, mais aussi dégrader simultanément les pesticides organophosphorés toxiques en composés inoffensifs», ajoute

Jorge Rodríguez Navarro. «Cette capacité ouvre la voie à la détoxification des eaux usées issues des activités agricoles.»

Relever les défis de la pénurie et de l'inefficacité

La pénurie de phosphore et l'inefficacité des engrais sont deux obstacles majeurs pour parvenir à une production durable dans le secteur agricole. Le projet PSust-MOF a contribué à les surmonter.

«En récupérant le phosphore des eaux usées agricoles et en le réutilisant pour développer de nouveaux engrais efficaces, nos travaux démontrent le potentiel des réseaux métallo-organiques pour relever simultanément les défis liés à la pénurie et à l'inefficacité en créant une économie circulaire des phosphates», souligne Francisco Carmona.

«Ce projet est parvenu à sensibiliser sur la durabilité du phosphore et a montré que la recherche est la clé pour trouver des stratégies et des solutions permettant de surmonter ces défis importants», ajoute Jorge Rodríguez Navarro.

Les chercheurs s'emploient actuellement à développer la capacité de traitement des matériaux métallo-organiques en utilisant des composites ou des matrices membranaires mixtes, une avancée qui permettrait de les produire à l'échelle.



Non seulement les engrais traditionnels n'ont qu'une très faible efficacité, mais une majorité d'entre eux libèrent du phosphore dans le sol, ce qui a un impact négatif sur l'environnement et la santé humaine.

PROJET

PSust-MOF – Metal-Organic Frameworks as multifunctional materials toward P-sustainability

COORDONNÉ PAR

Université de Grenade en Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-MSCA-IF

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/888972/fr

Créer des sols plus productifs avec moins d'engrais

En comprenant mieux la formation de la rhizosphère du sol et la manière dont elle aide les nutriments à pénétrer dans les racines des cultures, les chercheurs espèrent être en mesure de créer un sol plus sain.



L'utilisation des engrais chimiques, qui apportent aux cultures les nutriments dont elles ont besoin pour se développer, symbolise l'agriculture moderne. Malheureusement, une grande majorité de nos cultures – et de nos agriculteurs – en sont devenus trop dépendants.

Cette surconsommation a entraîné une contamination des sols. Dans certains cas, il est presque impossible de cultiver sans recourir à des engrais nuisibles à l'environnement. «Le défi consiste à trouver des solutions qui permettent aux agriculteurs d'améliorer leurs rendements tout en réduisant l'utilisation des

engrais», explique Lionel Dupuy, chercheur à [Neiker](#), un centre de recherche qui vise à renforcer le secteur basque de l'agro-élevage et de la sylviculture.

Pour Lionel Dupuy et l'équipe de Neiker, il ne s'agissait pas de créer un meilleur engrais, mais plutôt d'améliorer la santé des sols. Grâce au soutien du projet SENSOLIS (Sensing soil processes for improved crop nitrogen bioavailability), financé par l'UE, c'est exactement ce qu'ils ont entrepris de faire.

La dynamique des racines des cultures et des microbes du sol

Le projet, qui a bénéficié d'un soutien du [Conseil européen de la recherche](#), s'articule autour d'une étude approfondie de la dynamique des racines des cultures et des microbes du sol. «Nous nous sommes concentrés sur la rhizosphère, la couche du sol qui entoure les racines des plantes, là où se déroule une grande partie de l'activité biologique», poursuit Lionel Dupuy.



Le défi consiste à trouver des solutions qui permettent aux agriculteurs d'améliorer leurs rendements tout en réduisant l'utilisation des engrais.

En comprenant mieux la manière dont la rhizosphère se forme et dont elle aide les nutriments à pénétrer dans les racines, les chercheurs espéraient être en mesure de créer un meilleur sol. Mais, comme souvent dans les recherches, les choses ne se passent pas toujours comme prévu.

«Premièrement, les micro-organismes avec lesquels nous avons choisi de travailler ont été très lents à se développer, ce qui a fortement compliqué leur transformation génétique», ajoute Lionel Dupuy.

«Même le recours à un type plus courant de micro-organisme s'est avéré plus difficile que nous le pensions.»

Selon Lionel Dupuy, cette découverte est importante, car elle pourrait ouvrir la voie au développement de solutions qui maintiennent les populations de microbes bénéfiques le long des racines, entraînant à terme la création de cultures plus saines qui ne nécessitent pas d'engrais.

Des sols artificiels

Forte de ces nouvelles données, l'équipe du projet a continué à développer une série de sols artificiels capables d'agir comme des capteurs et d'enregistrer les changements chimiques du sol. «Nos recherches ont montré qu'en inventant des sols artificiels et en utilisant des technologies d'imagerie innovantes, nous pouvons suivre les interactions microbiennes et leur impact sur les racines des cultures, ainsi que la composition chimique du sol», souligne Lionel Dupuy.

Bien que ces résultats soient importants, Lionel Dupuy reconnaît qu'il reste beaucoup de travail à accomplir. «Le projet SENSOILS n'est que le début, et ses résultats occuperont notre laboratoire dans un proche avenir», conclut-il. «Mais je suis certain que nos travaux destinés à comprendre les écosystèmes du sol mèneront au final à de nouvelles solutions qui définiront un secteur agricole plus productif et plus durable à l'avenir.»

Observer les changements dans la composition du sol

Bien que ces défis aient pu contraindre les chercheurs à réduire la portée générale de leurs recherches, ils leur ont également permis de concentrer leurs efforts sur les idées les plus prometteuses, dont la possibilité de réaliser une microscopie de cellules vivantes dans les pores du sol. «Cette microscopie nous permet d'observer les changements dans la composition chimique du sol, et donc de voir la rhizosphère en action», poursuit Lionel Dupuy.

Ils ont ainsi pu examiner la manière dont les bactéries se coordonnent pour migrer en masse à travers les pores du sol.

PROJET

SENSOILS – Sensing soil processes for improved crop nitrogen bioavailability

COORDONNÉ PAR

Neiker – Institut basque pour la recherche et le développement agricoles en Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-ERC

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/647857/fr



Créer des engrais avec de l'air... et du fumier

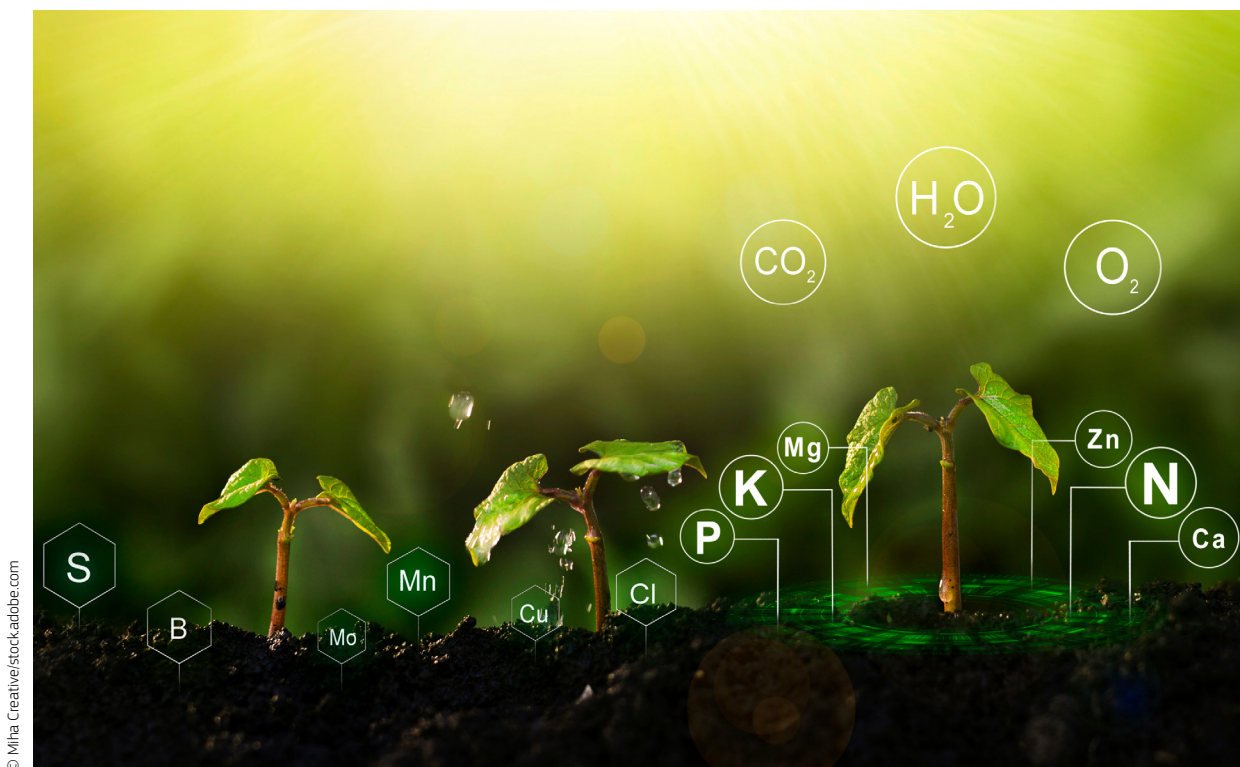
Utilisant un mélange d'air, de fumier et d'électricité, une entreprise a développé un nouvel engrais écologique pouvant être produit sur place.

La moitié de la population mondiale dépend des aliments cultivés à l'aide d'engrais chimiques azotés. La production de ces engrais repose sur le gaz et le charbon fossiles, ce qui entraîne d'importantes émissions de [gaz à effet de serre](#). L'azote est également perdu, que ce soit dans l'air sous forme d'ammoniac ou dans les voies fluviales qu'il pollue considérablement.

Le projet [SmartNitroFarm](#) (Local fertilizer production by plasma treatment), financé par l'UE, a amélioré et commercialisé une technologie révolutionnaire visant à résoudre ces deux problèmes, apportant ainsi une solution circulaire écologique au sein des exploitations agricoles.

SmartNitroFarm est un système qui utilise du lisier, de l'air et de l'électricité pour produire localement des engrais tout en réduisant considérablement les émissions de carbone et en stimulant les rendements agricoles.

«La technologie intègre de l'azote contenu dans l'air dans le lisier, ce qui augmente sa teneur en azote», explique [Helen Kvande Due](#), responsable du développement de l'entreprise à [N2 Applied](#) en Norvège. «La réaction empêche la perte d'ammoniac et élimine les émissions de méthane, ce qui en fait une véritable solution pour contribuer à atteindre les engagements en matière de climat à l'échelle industrielle», ajoute-t-elle.



Préparatifs de commercialisation et essais pilotes

L'unité de N2 peut être installée localement dans des exploitations agricoles ou dans des installations de biogaz.



La technologie intègre de l'azote contenu dans l'air dans le lisier.

Elle fait approximativement la taille d'un conteneur maritime et s'intègre facilement dans l'infrastructure de l'exploitation. Le fumier liquide est traité avant son stockage et est conservé pour une utilisation ultérieure.

En ajoutant de l'air et de l'électricité au fumier liquide, le système crée un engrais organique enrichi en azote (OEA), doté des mêmes caractéristiques que le lisier mais

avec une teneur plus élevée en azote. En d'autres termes, il peut toujours être dispersé avec les équipements de l'exploitation et il améliore les rendements.

L'objectif global du projet SmartNitroFarm était de préparer la technologie en vue de sa commercialisation. Durant la première partie du projet, l'équipe a mené des essais pilotes dans différents marchés et conçu la prochaine génération de la technologie en s'appuyant sur les commentaires recueillis lors de cette phase. Au cours de la seconde partie, l'équipe s'est concentrée sur le développement de l'entreprise et du marché, et sur la communication, afin de garantir une commercialisation réussie.

Six exploitations pilotes ont été sélectionnées pour participer aux essais, et une unité a été installée dans chacune d'entre elles. Les chercheurs ont ainsi été en mesure de tester le fonctionnement de la technologie dans un cadre réel et, par la suite, de tester les performances de l'engrais. Les résultats de ces essais ont également contribué à la conception de la première unité commerciale.

Commentaires des agriculteurs et nouveaux partenariats

«Les résultats les plus importants ont notamment été la finalisation couronnée de succès de l'assemblage, de l'installation

et du fonctionnement des six unités pilotes dans les différents marchés», explique Helen Kvande Due. «En outre, les résultats liés au développement de l'entreprise comprennent la signature d'un accord de partenariat avec le distributeur agricole mondial [GEA](#) et le lancement de l'unité N2 de prochaine génération au [salon EuroTier](#) à Hanovre», poursuit-elle.

Durant le projet, l'équipe a cartographié les besoins des parties prenantes et des clients potentiels, et a mené une enquête pilote auprès des agriculteurs pilotes. «Dans l'ensemble, tous les clients pilotes étaient satisfaits du projet et se sont montrés très intéressés par la technologie», ajoute Helen Kvande Due. «Le principal problème identifié est un manque de subventions et de soutien du gouvernement pour les agriculteurs afin de réduire les émissions.»

Innovation future

Grâce aux progrès réalisés durant le projet SmartNitroFarm, la technologie a atteint le [niveau de maturité technologique \[TRL\] 8](#). «Nous travaillerons avec notre nouveau partenaire, GEA, pour amener cette technologie au niveau TRL 9», conclut Helen Kvande Due. «En outre, l'un des principaux objectifs à l'avenir est de parvenir à obtenir un soutien du gouvernement afin d'accélérer l'adoption de la technologie.»

PROJET

SmartNitroFarm – Local fertiliser production by plasma treatment

COORDONNÉ PAR

N2 Applied en Norvège

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-Societal Challenges, Horizon 2020-SME and Horizon 2020-LEIT

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/101008819/fr

SITE WEB DU PROJET

n2applied.com/euprojects/eic



Aider l'Europe à protéger l'eau et les nutriments

Le changement climatique devrait nuire à l'agriculture européenne en affectant l'eau et les nutriments nécessaires à la croissance des cultures. De nouveaux géotypes de cultures et une gestion innovante des agroécosystèmes entendent améliorer la situation.



© sergei_fish13/stock.adobe.com

Deux des impacts attendus du changement climatique sont une accessibilité limitée à l'eau et des pénuries de nutriments importants pour les cultures. «L'eau devrait être plus limitée dans de nombreuses régions d'Europe, tandis que les nutriments pourraient devenir plus rares notamment en raison d'une plus grande pénurie d'eau», explique [Philippe Hinsinger](#), chercheur principal à [l'INRAE Montpellier](#) et coordinateur du projet [SolACE](#) (Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use).

Des nutriments essentiels comme l'azote et le phosphore sont également appliqués par les agriculteurs sous la forme d'engrais, qui ont des incidences considérables sur l'environnement. Améliorer la durabilité de [l'agriculture](#) européenne passe donc par une réduction de l'utilisation des engrais, ce qui

entraîne des situations plus fréquentes de limitation de l'azote ou du phosphore pour les cultures.

Le projet SolACE, financé par l'UE, entendait surmonter ces obstacles en concevant de nouveaux géotypes de cultures capables de se développer dans ces conditions difficiles. L'équipe a également élaboré une série de pratiques de gestion visant à soutenir l'agriculture européenne, tant les systèmes d'agriculture biologique que traditionnelle.

«Il est absolument indispensable de réduire davantage l'utilisation de ces engrais pour des raisons environnementales mais aussi économiques face à l'augmentation et à la fluctuation du coût des engrais», ajoute Philippe Hinsinger.

Des génotypes de cultures innovants

De nouveaux génotypes de cultures peuvent mieux se nourrir et exploiter les ressources souterraines comme l'eau et les nutriments situés en profondeur, ou atteindre de meilleurs rendements en consommant moins d'eau ou de nutriments.

«Dans le cadre de SolACE, nous avons consacré une grande partie de nos efforts à améliorer l'efficacité de l'acquisition en ce qui concerne les caractéristiques souterraines, ce qui représentait le principal défi de notre projet», précise Philippe Hinsinger.

L'équipe a développé environ 250 [génotypes de cultures](#) de blé tendre et de blé dur, en recourant à des technologies d'imagerie pour analyser les caractéristiques des racines. De plus petits panels pour les génotypes de pommes de terre ont également été examinés.

L'équipe de SolACE a en outre élaboré une nouvelle stratégie de sélection. Les données liées au phénotype des racines ont mené au développement de modèles de sélection génomique, qui ont été testés avec succès en vue d'améliorer les performances du blé tendre et du blé dur. Le consortium a également recouru aux biotechnologies pour concevoir des hybrides de blé tendre et de pommes de terre.

Les chercheurs ont développé de nouvelles pratiques de gestion des agroécosystèmes, qui ont été testées dans des études pilotes en laboratoire et ensuite lors d'expériences menées sur le terrain à différents endroits d'Europe.

Afin de mener des tests plus poussés de ces nouvelles stratégies, le projet a réalisé des expériences dans les exploitations de sept réseaux d'agriculteurs d'Europe, et a fourni un effort considérable pour modéliser les rendements des cultures dans des scénarios climatiques du futur. «L'utilisation de modèles de cultures combinée à des scénarios climatiques futurs dans différentes régions d'Europe a montré une grande diversité de réactions des cultures», explique Philippe Hinsinger. «Elles étaient négatives dans les régions du Sud et de l'Est et assez positives dans de nombreuses autres : il est possible de noter une amélioration des rendements en raison d'une augmentation du CO₂ et de la température», ajoute-t-il.

Politique et recherches futures

Les résultats de SolACE comprennent un éventail de résumés, de vidéos, de documents de formation et de publications du [PEI-AGRI](#) dans la presse spécialisée et scientifique et de communications lors de conférences. L'équipe a également produit une série de notes de politique, qui proposent des recommandations politiques clés en vue de relever ces défis spécifiques.

«Une nouvelle exploitation de certaines de ces conclusions est actuellement envisagée dans le cadre de nos travaux, en impliquant de petites et plus grandes entreprises de biotechnologie», conclut Philippe Hinsinger. «La participation au projet a suscité un intérêt et de l'enthousiasme pour les innovations testées, en particulier auprès des agriculteurs.»



Nous avons consacré une grande partie de nos efforts à améliorer l'efficacité de l'acquisition en ce qui concerne les caractéristiques.

PROJET

SolACE – Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use

COORDONNÉ PAR

INRAE en France

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/727247/fr

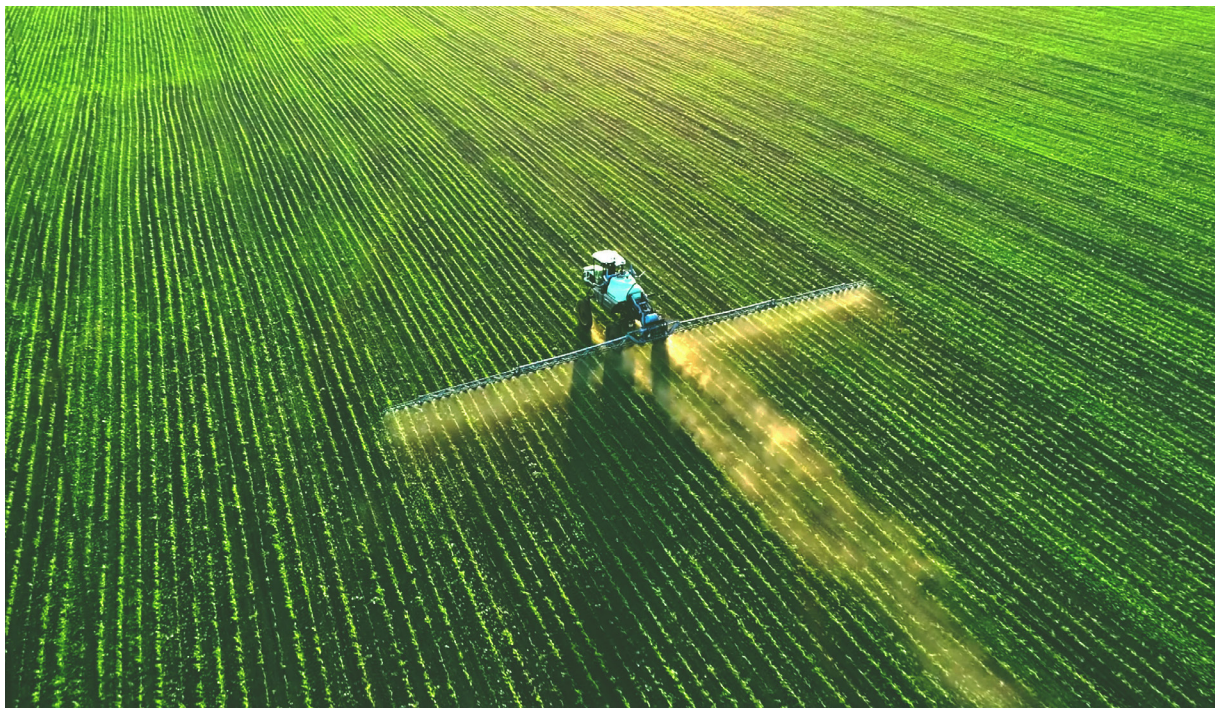
SITE WEB DU PROJET

solace-eu.net



Introduire des engrais durables sur le marché

Une nouvelle technologie innovante développe des engrais à partir d'air, d'électricité et de lisier. Le produit est désormais préparé en vue d'une application commerciale.



© Mose Schneider/stockadobe.com

Les engrais chimiques peuvent exercer de lourdes pressions sur l'environnement. Leur production nécessite généralement l'utilisation de combustibles fossiles, ce qui entraîne des émissions de carbone. Dans leur application finale à l'exploitation agricole, de l'azote peut s'échapper dans l'air ou s'infiltrer dans les voies fluviales avoisinantes, aggravant ainsi la pollution.

Le projet [SmartNitroFarm](#), financé par l'UE, a créé un substitut respectueux de l'environnement et de l'écologie qui utilise de l'air et de l'électricité pour transformer le lisier animal en engrais de haute qualité. Le projet [Sustainable Manure](#) (Fertiliser from air by plasma treatment), financé par l'UE, a entrepris de concrétiser cette idée et de la commercialiser.

Transformer une idée en réalité commerciale

«Le projet Sustainable Manure s'est intéressé au développement de la technologie plasma de nouvelle génération», explique [Trond Lund](#), responsable du développement de l'entreprise

à [N2 Applied](#). Afin de garantir la viabilité de la technologie sur le marché, il fallait améliorer plusieurs aspects du système. L'apport énergétique par tonne de matériau traité devait être réduit, à l'instar du coût d'investissement initial du système. L'équipe a également travaillé en vue d'améliorer la durée de vie et l'entretien des électrodes plasma consommables, une partie fondamentale du système d'engrais.

Le projet Sustainable Manure a apporté des évolutions à tous ces facteurs et montré que ses recherches peuvent être mises à l'échelle et utilisées dans des machines commerciales pratiques au sein des exploitations.

«L'amélioration de l'efficacité énergétique a été documentée à l'échelle du laboratoire et nous permettra de changer la manière dont nous introduisons de l'azote dans la production alimentaire», poursuit Trond Lund. «La prochaine étape consiste à rendre cette solution accessible dans des systèmes commerciaux à taille réelle, ce qui prendra du temps», ajoute-t-il.

Le projet a développé avec succès la technologie sous-jacente ainsi qu'une solution permettant de réduire le coût du système plasma.

Ensuite, il s'agira d'introduire ces systèmes commerciaux sur le marché, ce qui s'inscrit dans un délai court à moyen.

«En ce qui concerne la production de consommables, les résultats ont déjà été mis en œuvre dans les systèmes de nouvelle génération actuellement développés et en passe de devenir des unités commerciales qui seront installées dans des exploitations en 2023», précise Trond Lund.

«Nous sommes très fiers d'avoir réalisé des améliorations techniques qui affecteront directement les chances de succès commercial de la technologie N2», ajoute Trond Lund. «Alors que le traitement au plasma favorise la production locale d'azote à partir d'électricité, recycle les nutriments à même l'exploitation et a une incidence considérable sur l'empreinte carbone du produit, voir les unités sur le point d'être déployées sur le marché nous donne véritablement le sentiment que nous sommes sur le point d'améliorer la production alimentaire mondiale.»

Établir des partenariats stratégiques

La réussite du projet, qui a fait la démonstration de la technologie et l'a améliorée, a permis à l'équipe de Sustainable Manure d'établir un partenariat stratégique avec [GEA](#) en vue de sa commercialisation.



Voir les unités sur le point d'être déployées sur le marché nous donne véritablement le sentiment que nous sommes sur le point d'améliorer la production alimentaire mondiale.

Ce partenariat entend mettre à l'échelle et accélérer l'adoption de la technologie des engrais et permettre au marché mondial de bénéficier des avantages du lisier durable. Les premiers marchés ciblés par le lancement commercial sont l'Allemagne, les Pays-Bas, les pays scandinaves et le Royaume-Uni.

PROJET

Sustainable Manure – Fertiliser from air by plasma treatment

COORDONNÉ PAR

N2 Applied en Norvège

FUNDED UNDER

Horizon 2020-FOOD

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

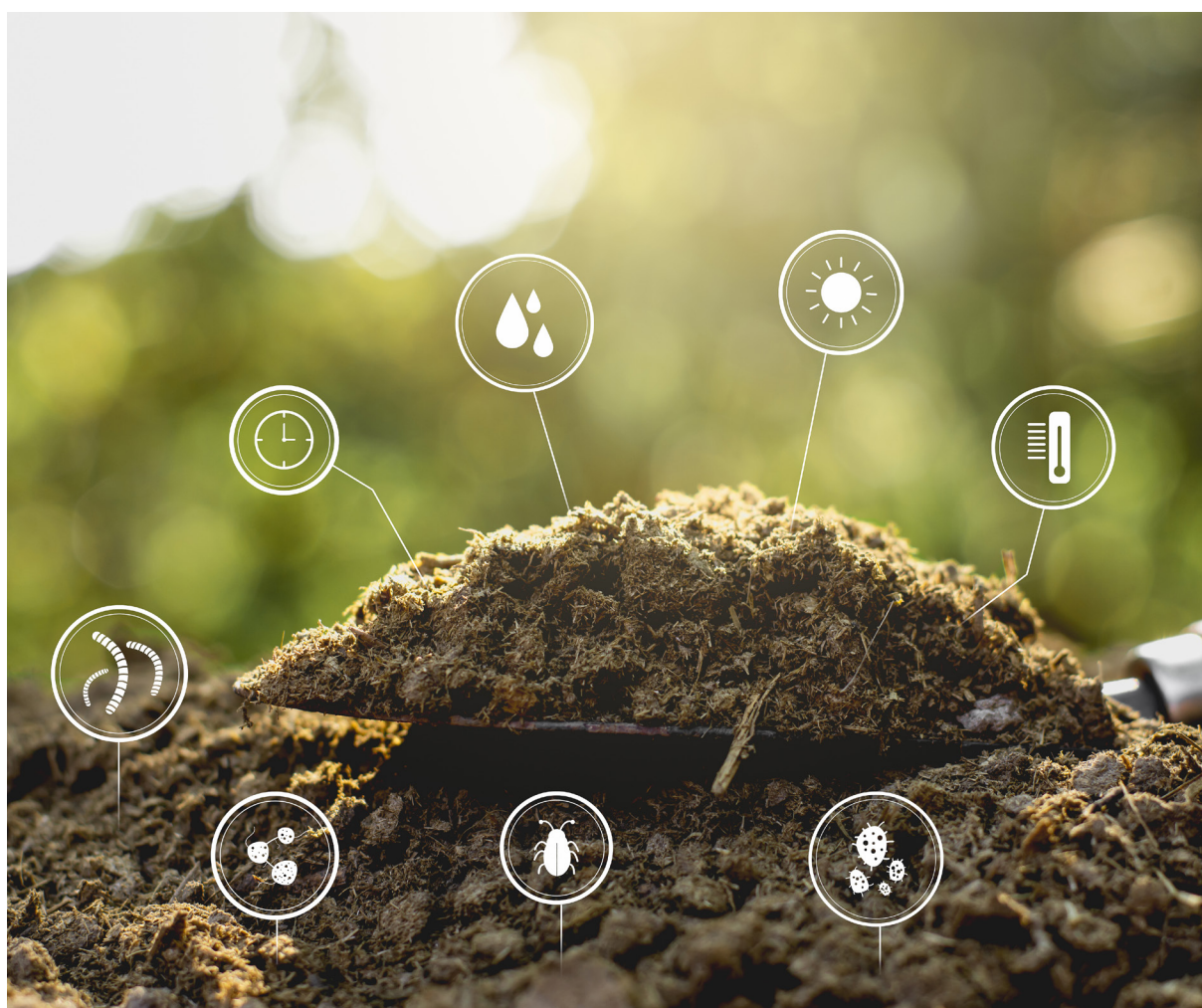
cordis.europa.eu/project/id/965546/fr

SITE WEB DU PROJET

n2applied.com/euprojects/fti

Un nouveau traitement pour mieux recycler le fumier animal

L'industrialisation de l'agriculture entraîne la production de larges quantités de fumier animal concentré et nuisible pour l'environnement. Un nouveau projet a développé une solution pour le transformer en un meilleur engrais et en une source d'énergie.



© 994yellow/stock.adobe.com

L'intensification de [l'agriculture](#) peut améliorer la sécurité alimentaire de l'Europe et du monde, pourtant, l'un de ses sous-produits pose problème: le fumier. S'il n'est pas traité correctement, le fumier a des effets considérables sur l'environnement.

Les émissions d'ammoniac issues de l'élevage ont de nombreux effets délétères sur l'environnement, comme l'eutrophisation,

l'acidification des sols et la formation de particules fines. Pourtant, en Europe, moins de 8 % du fumier de bétail est traité pour réduire les émissions, selon le projet Treat2ReUse (Treatment of Animal Waste to Reduce Gaseous Emissions and Promote Nutrient Reuse).

Le fumier brut ou traité pourrait également être utilisé comme source d'énergie, par exemple dans des installations de biogaz,

réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles. Pour ce faire, il existe des traitements chimiques, qui présentent toutefois des désavantages: les agriculteurs biologiques ne peuvent pas utiliser les acides industriels requis, et le fumier traité à l'acide ne peut pas être utilisé en grandes quantités dans les installations de biogaz.

Dans le cadre du projet Treat2ReUse, financé par l'UE, entrepris avec le soutien du [programme Actions Marie Skłodowska-Curie](#), les chercheurs ont mis au point une alternative biologique.

«Le principal objectif du projet était de trouver une méthode de traitement biologique pour le fumier animal afin de réduire les quantités potentiellement élevées d'émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre», explique [Lars Stoumann Jensen](#), professeur au département des sciences végétales et de l'environnement à l'[université de Copenhague](#), au Danemark, et coordinateur du projet Treat2ReUse.

Trouver une solution écologique

Lars Stoumann Jensen et son équipe ont développé et testé une nouvelle pratique d'acidification biologique, qui implique la fermentation pour induire la bioacidification par les microbes déjà présents dans le fumier. «Le traitement par bioacidification

pourrait potentiellement éliminer la nécessité de recourir au stockage et à la manipulation de haute technologie et de haute sécurité de l'acide sulfurique», explique [Iria Regueiro](#), une chercheuse post-doctorante qui travaille sur le projet Treat2ReUse.

Cette fermentation est intensifiée par l'ajout de sources de carbone facilement dégradables, dont les bactéries se nourrissent pour produire de l'acide lactique. Dans des conditions réelles, ce carbone pourrait provenir de résidus agricoles communs, comme la paille, les collets de betteraves sucrières et les mélasses.

«Lorsque le pH du fumier est faible, l'ammoniac est conservé dans le fumier sous une forme soluble et n'est pas perdu dans l'atmosphère», ajoute Iria Regueiro. «En outre, la valeur de l'engrais de fumier augmente, étant donné qu'il conserve davantage d'ammonium, un nutriment essentiel aux plantes,

qui ne sera pas perdu sous forme d'ammoniac, ce qui constitue un autre avantage du traitement.»

Tester le processus de fermentation

Après avoir identifié les conditions optimales pour le traitement, l'équipe a étudié la manière dont la bioacidification réduisait les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre durant le stockage. Enfin, ils ont examiné l'impact de l'application de fumier bioacidifié en tant qu'engrais sur l'absorption des nutriments par la plante.

«Le résultat le plus important est que la bioacidification des fumiers par la fermentation est très efficace lorsqu'on ajoute du sucre ou un résidu issu du bioraffinage des protéines végétales», souligne Iria Regueiro. Les résultats ont montré que le pH peut être réduit à un niveau inférieur à 5, ce qui inhibe considérablement les émissions d'ammoniac et de méthane.

L'équipe aimerait poursuivre ses travaux en procédant à un traitement biologique dans une exploitation expérimentale, et tester le potentiel de différents résidus à créer du biogaz e des engrais.

«Je suis fière de pouvoir travailler sur le développement d'une technologie alternative de traitement du fumier, qui pourrait s'avérer bénéfique tant pour les agriculteurs que pour l'environnement», conclut Iria Regueiro. «Et que mes recherches aient démontré qu'elle fonctionne vraiment!»



Je suis fière de pouvoir travailler sur le développement d'une technologie alternative de traitement du fumier, qui pourrait s'avérer bénéfique tant pour les agriculteurs que pour l'environnement.

PROJET

Treat2ReUse – Treatment of Animal Waste to Reduce Gaseous Emissions and Promote Nutrient Reuse

COORDONNÉ PAR

Université de Copenhague au Danemark

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-MSCA-IF

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/795974/fr



Une approche d'économie circulaire pour le traitement des eaux usées

Un projet financé par l'UE propose une solution innovante de récupération et de recyclage des nutriments, de grande valeur marchande dans le secteur agricole, présents dans les eaux usées des abattoirs.



© Water2REturn consortium

Environ 30 % des Européens sont concernés par le [stress hydrique](#), et approximativement [5 tonnes de déchets](#) sont produites en moyenne chaque année par habitant de l'UE. La rareté de l'eau et la récupération des ressources sont deux problématiques auxquelles l'UE s'attache à trouver des solutions durables. Et cela est d'autant plus nécessaire dans le secteur de l'abattage, très gourmand en eau et produisant d'énormes quantités d'eaux usées à fortes teneurs en matières organiques.

C'est ici que le projet [Water2REturn](#), financé par l'UE entre en jeu. «Nous proposons une solution intégrée pour le traitement des eaux usées des abattoirs ainsi que pour la récupération des nutriments précieux de grande valeur marchande dans le secteur agricole», explique Pilar Zapata, coordinatrice du projet.

La technologie Water2REturn adopte une approche d'économie circulaire. Les nutriments et les ressources énergétiques présents

dans les eaux usées sont recyclés de manière efficace et en toute sécurité sous différentes formes, puis sont réinjectés dans le système agricole comme de nouvelles matières premières.

«Les eaux usées constituent dès lors une source de nutriments, d'énergie et d'eau, et ne sont plus considérées comme des déchets; les installations de traitement des eaux usées deviennent ainsi des "bioraffineries"», ajoute Pilar Zapata.

Un processus de démonstration grandeur nature

Afin de tester la technologie de Water2REturn, le projet a mis en place un processus viable, intersectoriel et intégré

de démonstration grandeur nature dans l'étude de cas réelle «Matadero del Sur», un abattoir implanté à Salteras, en Espagne.

«Nous avons eu recours à la combinaison innovante de technologies et de processus biochimiques et physiques en cascade, tout en cherchant à atteindre un bilan positif en termes d'empreinte énergétique», explique Pilar Zapata.

Évoquant les principaux résultats, Pilar Zapata précise que: «Non seulement nous avons développé un traitement intégré des eaux usées, mais nous avons également mis au point un système de récupération des nutriments et de l'énergie qui se compose de

quatre unités de traitement distinctes mais liées entre elles: la ligne de l'eau, la ligne de la boue, la ligne de l'énergie et la ligne des algues.»

Cette démarche a permis de récupérer des matières premières secondaires (MPS): concentré de nutriments (MPS1), boues hydrolysées (MPS2) et biomasse algale (MPS3). En raison de la faible concentration d'azote des eaux usées de l'abattoir de Matadero del Sur, la MPS1 n'a pas été considérée comme viable sur le plan commercial, mais elle reste toutefois un bon candidat pour la fertilisation directe des champs locaux à proximité des abattoirs.

La MPS2, en revanche, renferme une grande quantité de matière organique qui peut être utilisée dans d'autres processus biologiques, notamment la digestion anaérobie. «Elle a servi de base à la formulation d'un biostimulant susceptible d'accroître la productivité des cultures», explique Pilar Zapata. Il a été testé sur des cultures de melons, de tomates et de concombres.

«La MPS3, quant à elle, a constitué la base de la formulation d'un biostimulant efficace qui a fait ses preuves dans plusieurs cultures maraîchères comme le concombre et l'abricot», ajoute Pilar Zapata. Appliquée au sol, elle permet d'obtenir un développement végétatif plus important, et, appliquée aux feuilles, elle améliore l'intensité et la qualité de la floraison et de la croissance, ainsi que le rendement des fruits.

«Le produit a également démontré son caractère compétitif, affichant des performances équivalentes à celles des meilleurs produits du marché tout en représentant une solution bien plus écologique», indique Pilar Zapata.

Des emplois et des secteurs verts pour la récupération et le recyclage des nutriments

L'utilisateur final, Matadero del Sur, entend conserver une partie des modules et transformer le démonstrateur actuel en un système grandeur nature.

«En outre, les résultats des activités du projet ainsi que le plan d'affaires et les conclusions de l'évaluation technico-économique laissent entendre que les solutions de Water2REturn sont susceptibles de générer un chiffre d'affaires de 29,4 millions d'euros au cours de la septième année suivant le lancement du projet, et seront source d'emplois directs et indirects», conclut Pilar Zapata.

PROJET

Water2REturn – REcovery and REcycling of nutrients TURNing wasteWATER into added-value products for a circular economy in agriculture

COORDONNÉ PAR

Bioazul en Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

Horizon 2020-ENVIRONMENT

FICHE DESCRIPTIVE CORDIS

cordis.europa.eu/project/id/730398/fr

SITE WEB DU PROJET

water2return.eu



Non seulement nous avons développé un traitement intégré des eaux usées, mais nous avons également mis au point un système de récupération des nutriments et de l'énergie (...).



Results Pack de CORDIS

Disponible en ligne en six langues: cordis.europa.eu/article/id/443142/fr



Publié

au nom de la Commission européenne par CORDIS
à l'Office des publications de l'Union européenne
2, rue Mercier
L-2985 Luxembourg
LUXEMBOURG

cordis@publications.europa.eu

Coordination éditoriale

Staffan VOWLES, Maria SERFIOTI

Avis de non-responsabilité

Les indications en ligne concernant le projet et les liens publiés dans le numéro actuel de ce Results Pack de CORDIS sont corrects au moment où cette publication est mise sous presse. L'Office des publications ne peut être tenu responsable des informations qui ne sont plus à jour ou des sites web qui n'existent plus. Ni l'Office des publications ni aucune personne agissant en son nom ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou de toute erreur qui pourrait subsister dans les textes, malgré l'attention portée à leur préparation.

Les technologies présentées dans cette publication peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle.

Ce Results Pack est le fruit d'une collaboration entre CORDIS, la direction générale de l'agriculture et du développement rural, l'Agence exécutive pour le Conseil européen de l'innovation et les PME (EISMA), l'Agence exécutive européenne pour la recherche (REA), et l'Agence exécutive du Conseil européen de la recherche (ERCEA).



@EUAgri
@HorizonEU



@EUAgri
@EUScienceInnov



@euagrifood
@eu_science



REA LinkedIn
EISMEA LinkedIn

Print	ISBN 978-92-78-43522-6	doi:10.2830/636171	ZZ-AK-23-003-FR-C
HTML	ISBN 978-92-78-43523-3	doi:10.2830/848595	ZZ-AK-23-003-FR-Q
PDF	ISBN 978-92-78-43518-9	doi:10.2830/076013	ZZ-AK-23-003-FR-N

Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, 2023

© Union européenne, 2023



La politique de la Commission européenne en matière de réutilisation de l'information est mise en oeuvre par la [décision 2011/833/UE de la Commission du 12 décembre 2011 relative à la réutilisation des documents de la Commission \(JO L 330 du 14.12.2011, p. 39\)](#).

Sauf indication contraire, la réutilisation de ce document est autorisée dans le cadre d'une licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>).

Cela signifie que la réutilisation est autorisée moyennant citation appropriée et indication de toute modification.

Photo de couverture: © Union européenne, 2023

Pour utiliser ou reproduire des contenus qui ne sont pas détenus par l'UE, il se peut que vous deviez demander l'autorisation directement aux titulaires des droits.

RESULTS PACK SUR L'AGROÉCOLOGIE – NOUVELLE ÉDITION

Le secteur agricole européen a obtenu de grands succès, mais souvent au prix d'une dégradation de l'environnement, d'une pollution des terres et de l'eau, d'effets négatifs sur la biodiversité, et d'une empreinte carbone élevée. L'agroécologie propose un système résilient et durable pouvant être bénéfique pour le climat, l'écosystème et la société.



Consultez le Pack sur:
cordis.europa.eu/article/id/442635/fr



Office des publications
de l'Union européenne



Suivez-nous aussi sur les réseaux sociaux!
facebook.com/EUresearchResults
twitter.com/CORDIS_EU
youtube.com/CORDISdotEU
instagram.com/eu_science

FR