

UNE TECHNIQUE CULTURALE PERMETTANT DE RÉDUIRE L'UTILISATION D'INTRANTS NITRATÉS

Thème

Thème 2 : Enjeux contemporains de la planète.

Note d'intention

Séquence permettant de comprendre comment l'agriculture peut tirer profit des services bénéfiques rendus par la biodiversité, notamment pour fertiliser les sols et limiter le recours aux intrants nitrates à partir de l'étude de l'exemple des cultures associées.

La séquence présentée n'a pas vocation à être modélisante : elle propose une façon d'aborder cette partie du programme. Les durées proposées sont indicatives et selon les investigations menées des démarches différentes peuvent être envisagées.

Mots-clés

Agrosystème – Production alimentaire – Enjeux – Impacts – Santé – Environnement – Intrants – Pesticides – Fertilisation – Pratiques culturales – Techniques culturales – Productivité et rendements – Agriculture durable – Biodiversité – Recyclage de la matière – Symbiose – interactions entre êtres vivants – Microbes – Production de Biomasse.

Références au programme

Nourrir l'humanité : vers une gestion durable des agrosystèmes.

Connaissances

La recherche agronomique actuelle, qui s'appuie sur l'étude des processus biologiques et écologiques, apporte des connaissances, technologies et pratiques pour le développement d'une agriculture durable permettant tout à la fois de couvrir les besoins de l'humanité et de limiter ou de compenser les impacts environnementaux.

Compétences

Pratiquer des démarches scientifiques :

- interpréter des résultats et en tirer des conclusions afin d'identifier et d'argumenter les processus biologiques et écologiques impliqués dans la fixation de l'azote par les légumineuses et la fertilisation des sols.

Concevoir, créer, réaliser :

- réaliser une préparation, mettre en œuvre un protocole permettant d'identifier des bactéroïdes dans des nodosités.

Pratiquer des langages :

- construire un schéma fonctionnel pour rendre compte de la symbiose.

SOMMAIRE

Une technique culturale permettant de réduire l'utilisation d'intrants nitrates 3

Objectif et scénario 3

Déroulement de la séquence 4

Séance 1 – Découvrir des mécanismes biologiques et écologiques (les symbioses à Rhizobium) permettant à des plantes d'utiliser une source inépuisable d'azote : l'azote atmosphérique..... 4

Séance 2 – Rechercher et argumenter les voies de transfert d'azote entre deux plantes associées en culture 5

Documents d'activité et ressources pour le premier temps d'activité 7

Comment des plantes comme les légumineuses peuvent-elles « nourrir » d'autres plantes ? 7

Document 1 – Comparaison de la croissance après un an de culture d'une légumineuse : le soja japonais 7

Consigne de travail 8

Exemples d'aides à fournir pour la construction d'un schéma fonctionnel 9

Exemple de grille d'évaluation pouvant être distribuée aux élèves pour procéder à l'analyse des productions de leurs pairs dans le cadre d'un dispositif d'évaluation croisée..... 9

Frottis de nodosités de la vesce montrant les bactéroïdes en forme de « Y » 10

Documents d'activité et ressources pour le 2^{ème} temps d'activité 11

Un schéma à compléter (aide à raisonner) 11

Document 1 – mesure des transferts d'azote (N) entre le blé et le pois..... 12

Document 2 – la biodiversité du sol intervient dans des transferts indirects de substances entre les plantes..... 13

Pistes de documents à exploiter pour discuter des limites des cultures associées 13

Document 1 – Résultats des mesures de rendements en fonction des variétés cultivées..... 13

Document 2 – Évolution de la masse de nodosités chez le soja (en mg de matière sèche de nodosité / plante cultivée) cultivé en présence ou en absence d'engrais azotés 14

Retrouvez éduscol sur :



Une technique culturale permettant de réduire l'utilisation d'intrants nitrates

Objectif et scénario

Cette séquence fait suite à des investigations qui ont permis d'élucider et d'argumenter quelques impacts des pollutions aux nitrates sur l'environnement (marée verte, eutrophisation des milieux dulçaquicoles ou littoraux), sur la santé (méthémoglobinémie ou cyanose du nourrisson), sur le climat (émission de GES par la filière nitrate), voire en termes économiques par les coûts liés aux traitements des eaux domestiques affectées par les pollutions d'origine agricoles (nitrates, pesticides).

Elle porte sur l'étude d'une technique culturale favorisant la fertilisation azotée : la culture du méteil associant des « légumineuses » comme la vesce cultivée, le pois, ou la féverole et une céréale, le blé. Elle s'inscrit dans une logique de **recherche de solutions** pour cultiver en minimisant l'utilisation des intrants nitrates (lisiers, engrais chimiques comme l'ammonitrate) tout en garantissant les rendements.

Deux temps d'activités seront nécessaires pour identifier et comprendre les processus biologiques et écologiques impliqués dans cette technique de culture (prévoir deux séances).

- **Lors d'une première séance**, les élèves pourront comprendre comment des plantes comme les légumineuses peuvent bénéficier d'une ressource inépuisable d'azote (le diazote atmosphérique) grâce aux relations symbiotiques qu'elles mettent en place avec des bactéries libres du sol appartenant au groupe des Rhizobium.
- **Lors d'une seconde séance**, les élèves pourront rechercher et argumenter les voies de transfert d'azote entre deux plantes associées en culture. Une étude documentaire, notamment de résultats d'expériences, permettra de discuter une fausse idée reçue, mais instinctive : « *si on cultive une légumineuse avec le blé, alors celle-ci lui transfère directement de l'azote qu'elle a prélevé dans l'air grâce à la symbiose qu'elle entretient avec ses bactéries* » et de construire des connaissances sur quelques processus biologiques et écologiques impliqués dans les transferts d'azote entre organismes vivants (minéralisation par les bactéries du sol des molécules azotées libérées dans le sol, échanges mycorhiziens, échanges directs).

Cette séquence pourra se poursuivre par une activité permettant aux élèves de discuter des conditions de mise en œuvre de cette technique culturale (avantages et inconvénients). Ils disposeront de documents précisant les mesures des rendements des deux espèces cultivées dans différentes conditions expérimentales réalisées en pleins champs.

Retrouvez éduscol sur :



Déroulement de la séquence

Séance 1 – Découvrir des mécanismes biologiques et écologiques (les symbioses à Rhizobium) permettant à des plantes d'utiliser une source inépuisable d'azote : l'azote atmosphérique.

Après avoir procédé au rappel des impacts environnementaux et sur la santé de la pollution des eaux aux nitrates, le professeur projette un schéma des besoins nutritifs des végétaux chlorophylliens et explique aux élèves que l'azote est pour la plupart des plantes cultivées un facteur limitant à leur croissance. Des échanges avec la classe permettront aux élèves de comprendre un « nœud » du problème : « *Est-il possible de fournir de l'azote aux plantes en limitant le recours aux engrais chimiques ou au lisier ? Comment le faire ?* ».

Il présente aux élèves une technique culturale surprenante : cultiver simultanément deux espèces, le petit-pois et le blé, puis les questionne sur les raisons possibles de cette association. Les élèves pourront formuler différentes hypothèses : notamment assurer la fertilisation azotée, aider la lutte contre les ravageurs, etc.

La nécessité de rechercher et argumenter les raisons de cette association est ainsi posée. Il leur propose de mener des recherches **en deux temps** afin de comprendre « *comment une plante peut nourrir une autre plante ?* ».

La réalisation de l'activité devra permettre aux élèves de construire une réponse (schémas fonctionnels, écrits) rendant compte des échanges nutritionnels dans le cas de la symbiose à Rhizobium impliquée dans la fixation de l'azote atmosphérique.

Pour cela, ils réaliseront une préparation et une observation microscopique de nodosités**. Des ressources seront mises à disposition des élèves sur un espace de partage (mur collaboratif, réseau) pour guider leurs observations, les vérifier, et fournir les informations nécessaires à l'élaboration de leur schéma bilan. Le professeur sera ainsi disponible pour accompagner la classe, et répondre aux besoins individuels.

Ce temps de travail peut amener les élèves à mobiliser des connaissances construites sur le métabolisme des cellules (photosynthèse, autotrophie / hétérotrophie) et identifier un organe mixte (la nodosité) mis en place par deux organismes aux métabolismes complémentaires.

Exemples de ressources à fournir

- Matériel biologique : vesce, petit-pois, féverole, luzerne, trèfle
- Vidéo : « [Ces plantes qui élèvent leurs bactéries](#) », CNRS le Journal
- Photographies ou vidéos des observations microscopiques à réaliser
- Tutoriels pour réaliser des captures d'images.
- Aide pour réaliser un schéma fonctionnel (cela peut être un exemple)

Au terme de l'activité, une mise en commun permettra de structurer quelques connaissances sur les relations entre organismes (symbioses, nodosités, fixation de l'azote atmosphérique, échanges nutritionnels).

L'exploitation des schémas fonctionnels dans le cadre d'un dispositif d'évaluation croisée pourra permettre de travailler plus spécifiquement une capacité en faisant identifier aux élèves les critères et indicateurs de réussite d'un schéma fonctionnel ; ou bien leurs réussites et erreurs, voire celles de leurs pairs, par l'analyse des productions à condition de leur fournir une grille critériée, d'avoir procédé à quelques éléments de correction et leur permettre d'argumenter leur évaluation en listant des indicateurs de réussite.

Retrouvez éducol sur :



Un temps d'analyse de 10 minutes, suivi de la réalisation d'un retour entre pairs de 5 minutes peut permettre à chacun d'identifier ses réussites, ses erreurs, et bénéficier de conseils pour être meilleurs.

Séance 2 – Rechercher et argumenter les voies de transfert d'azote entre deux plantes associées en culture.

Rappel

Voici l'une des idées reçues, mais fausse et fortement ancrée : « si on cultive une légumineuse avec le blé, alors celle-ci lui transfère directement de l'azote qu'elle a prélevé dans l'air grâce à la symbiose qu'elle entretient avec ses bactéries ».

Ainsi l'objectif de l'activité présentée est de réaliser un travail de déconstruction de cette représentation par la mise en œuvre de raisonnements argumentés et critiques à partir de l'exploitation de données expérimentales. Il s'agira d'un moment d'apprentissage de l'incertitude, pouvant contribuer au développement de l'esprit critique des élèves.

Étapes de la séance

1. **Rappeler l'objectif de recherche** : « découvrir comment les légumineuses peuvent contribuer à la fertilisation azotée et nourrir d'autres plantes associées en culture » ainsi que des mécanismes biologiques et écologiques permettant la fixation symbiotique de l'azote.
2. **Laisser un temps aux élèves pour formuler des hypothèses**. Celle du transfert direct et unidirectionnel sera proposée. Il y en aura d'autres.
3. **Proposer l'activité et préciser les modalités d'organisation du travail** : il s'agit d'une étude de documents dont un rapporte les résultats d'expériences de transferts d'azote entre plantes. Le deuxième document décrit d'autres mécanismes biologiques et écologiques impliqués. Il permet aux élèves de remobiliser des connaissances construites au collège ou en seconde sur le rôle des organismes du sol sur le recyclage de la matière organique et sa minéralisation dans le sol (microorganismes, minéralisation de la matière organique, réseaux trophiques).

Au cours de l'activité, les élèves devront compléter un schéma récapitulant les voies de transfert de l'azote du pois vers le blé pour répondre au problème posé. Ils découvriront qu'il s'agit en fait d'un transfert réciproque, quasiment similaire, car les incertitudes ne permettent pas d'argumenter des différences significatives. **Le bénéfice net de ces transferts pour le blé est donc négligeable** d'autant que les quantités d'azote impliquées dans ces transferts sont faibles.

Compétence travaillée : Pratiquer des démarches scientifiques

- Interpréter des résultats et en tirer des conclusions (argumenter en faisant des liens).
- Évaluer les interprétations, faire preuve d'esprit scientifique et d'esprit critique.
- Apprendre la notion d'incertitude, avoir conscience de la complexité du réel.

Retrouvez éduscol sur :



Modalités d'organisation du travail pour générer les apprentissages

Dans un premier temps (15 minutes), les élèves travailleront individuellement. Ils devront noter les conclusions pouvant être tirées de l'exploitation de chaque document (je conclus...) et expliciter leur raisonnement en décrivant l'exploitation qu'ils ont faite du document (car je vois...).

Dans un deuxième temps (15 minutes), les élèves se regrouperont par binômes et devront compléter le schéma des transferts d'azote. Pour ce faire, ils seront amenés à confronter leurs raisonnements, et notamment les erreurs d'interprétations des différences de transferts blé → pois et pois → blé.

Au regard de l'incertitude, le professeur peut faire un point d'étape pour aider à identifier ce double transfert équivalent. Si des erreurs d'interprétations persistent, les mutualisations et les confrontations des productions lors du dernier regroupement devraient permettre aux élèves de repérer leurs erreurs, de le corriger entre pairs ou avec l'aide du professeur.

Enfin, dans un troisième temps (15 minutes), les élèves seront rassemblés par groupe de quatre. Ils devront choisir le schéma le plus approprié et le présenter oralement à la classe au cours d'un moment de restitution, en l'argumentant par une exploitation des documents d'étude.

À chaque étape, des débats internes amèneront les élèves à confronter leurs conclusions et raisonnements mis en œuvre afin de faire un choix argumenté de ceux (celles) qui semblent le plus adapté(e)s mais aussi de générer une prise conscience de la part de subjectivité engagée dans l'analyse et l'interprétation des données notamment pour soutenir les idées reçues fausses, mais fortement ancrées.

La séance se terminera par un temps de structuration des connaissances animé par le professeur (diversité et la complexité de ces mécanismes biologiques et écologiques impliqués dans les transferts d'azote, notion d'incertitude). Les échanges pourront se poursuivre pour informer les élèves sur l'état actuel de la recherche (ce que l'on sait, ce que l'on ne sait pas, les recherches en cours).

Retrouvez éduscol sur :



Documents d'activité et ressources pour le premier temps d'activité

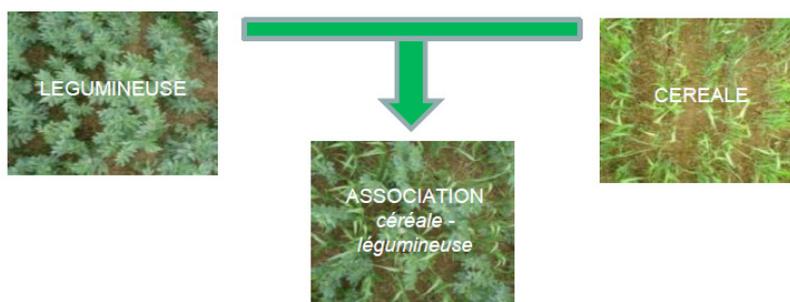


Comment des plantes comme les légumineuses peuvent-elles « nourrir » d'autres plantes ?

Au cours des dernières décennies, l'utilisation d'intrants azotés (lisiers, ammonitrates, ...) a permis d'augmenter significativement la productivité des cultures, mais dans le cas de l'azote (N) et du phosphore (P), cette augmentation s'est accompagnée d'impacts négatifs sur l'environnement, tels que l'eutrophisation des eaux de surface, la pollution des nappes phréatiques ou l'émission de gaz à effet de serre. Pourtant les plantes ont besoin d'azote pour leur croissance.

Depuis l'Antiquité, les légumineuses (haricots, trèfle, luzerne ...) sont connues pour leur faculté à nourrir les plantes voisines.

Aujourd'hui, on connaît mieux les processus biologiques et écologiques qui permettent à « ces plantes de nourrir d'autres plantes ». Cela a conduit les ingénieurs agronomes à développer des techniques associant la culture d'espèces appartenant à la famille des « Légumineuses » comme le pois, la féverolle, la vesce, le trèfle à une autre espèce cultivée (comme le blé).



Source: « [Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse](#) » – IRNA

Document 1 – Comparaison de la croissance après un an de culture d'une légumineuse : le soja japonais

Les légumineuses (haricot, trèfle, luzerne, soja, lentille, vesce, féverolle ...) sont des plantes capables de fixer l'azote de l'air dès lors où elles développent des renflements sur leurs nommées nodosités (voir photo ci-contre)



Plant de soja	Longueur totale des pousses (en cm)	Masse sèche de la plante (en mg)	Masse totale d'azote dans la plante (en mg)
Sans nodosité	68.5	0.42	0.0034
Avec nodosité	225.5	9.51	0.1012

Source : D'après Nathan 2012

Source : [wikipédia](#)

On cherche à comprendre comment ces renflements nommés nodosités permettent la nutrition azotée de ces plantes de la famille des légumineuses.

Retrouvez éduscol sur :



Consigne de travail

Réaliser un **compte-rendu de travail** contenant une **capture d'image légendée** de ses observations et un **schéma fonctionnel** permettant d'expliquer comment est réalisée la nutrition azotée des légumineuses.

1. **Réaliser une réparation microscopique de nodosité** afin d'identifier les « éléments » impliqués dans la fixation de l'azote atmosphérique.
Mettre en œuvre le protocole indiqué ci-après et s'aider des ressources à disposition pour le mur collaboratif de la classe afin de repérer et nommer les structures présentes.
2. **Exploiter la vidéo mise à disposition pour construire le schéma fonctionnel.**
Vidéo : « [Ces plantes qui élèvent leurs bactéries](#) », CNRS le Journal :

Protocoles pour réaliser une préparation de nodosités

1. Couper un fragment de racine à un niveau portant une nodosité contenant un renflement appelé nodosité.
2. Mettre les prélèvements dans un verre de montre contenant une goutte :
 - de rouge neutre (colorant vital) ou de bleu de méthylène.
3. Laisser réagir quelques instants (1 minute) :
 - écraser ces prélèvements, sur deux lames et avec le plat d'une aiguille lancéolée.
4. Monter dans l'eau puis observer au microscope.
5. Si nécessaire, procéder à un nouvel écrasement en appuyant délicatement sur la lamelle.

Remarque

Au fort grossissement, il est possible de distinguer de grosses cellules déformées, contenant une quantité importante de bactéries du genre *Rhizobium* (avec le rouge neutre, on peut voir bouger ces bactéries qui sont munies d'un cil non visible).

Protocole pour la réalisation d'un frottis de nodosité

1. Prélever une nodosité sur une racine**.
2. Écraser délicatement les échantillons entre deux lames.
3. Enlever les débris de nodosité.
4. Réaliser une fixation*** en plaçant la lame sur une résistance (laisser sécher).
5. Mettre une goutte de bleu de méthylène. Laisser agir 2 minutes. Le bleu de Méthylène colore en bleu les cellules.
6. Réaliser plusieurs rinçages à l'eau distillée.
7. Observer au microscope puis réaliser une capture d'image de ses observations.

S'aider des photos mises à disposition pour identifier les structures à repérer.

** Dans le cas de la réalisation de frottis, préférer la vesce. Les bactéroïdes en forme de « Y » sont facilement identifiables et repérables par les élèves.

*** Une fixation à l'alcool est aussi possible, mais nécessite de respecter des consignes de sécurité. Déposer la lame dans une boîte de Petri en verre. Déposer une goutte d'alcool éthanolique (70%). Flamber avec une allumette. Recommencer l'opération 3 fois.

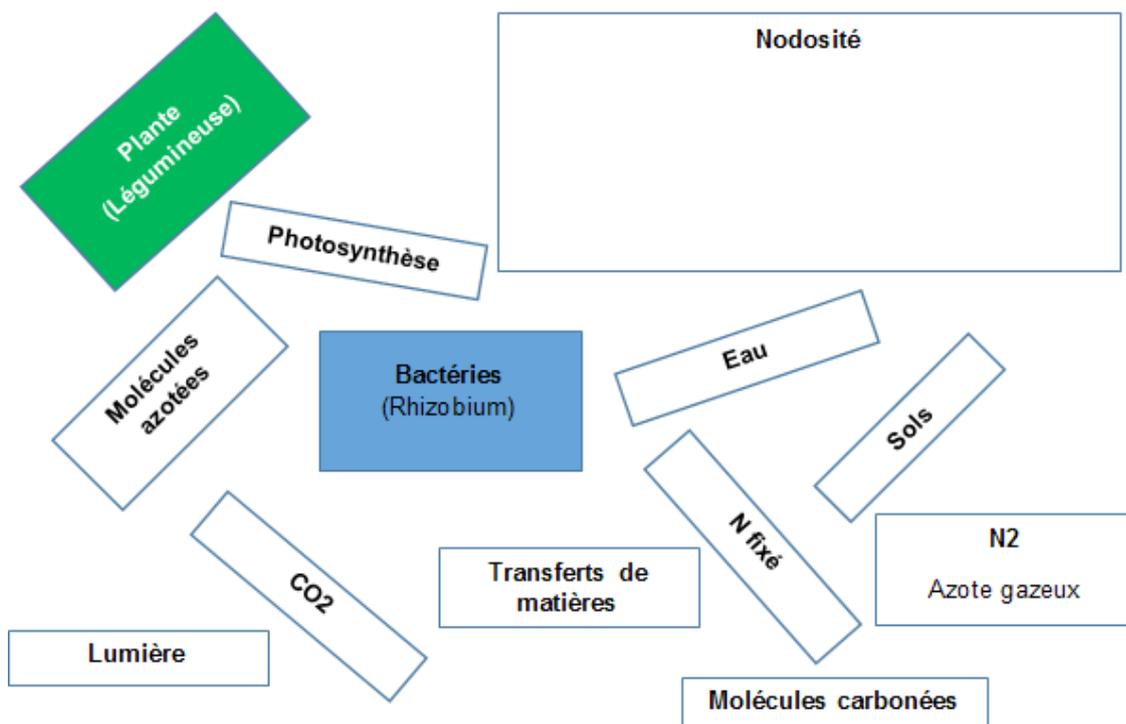
Retrouvez eduscol sur :



Exemples d'aides à fournir pour la construction d'un schéma fonctionnel

Fournir tout ou partie du champ lexical pouvant être repéré dans la vidéo décrivant les acteurs et les processus biologiques impliqués dans la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

Utiliser tout ou partie des mots suivants pour construire son schéma.



Exemple de grille d'évaluation pouvant être distribuée aux élèves pour procéder à l'analyse des productions de leurs pairs dans le cadre d'un dispositif d'évaluation croisée.

Consigne de travail

En utilisant la grille ci-dessous, évaluer le schéma fonctionnel produit par ses camarades.

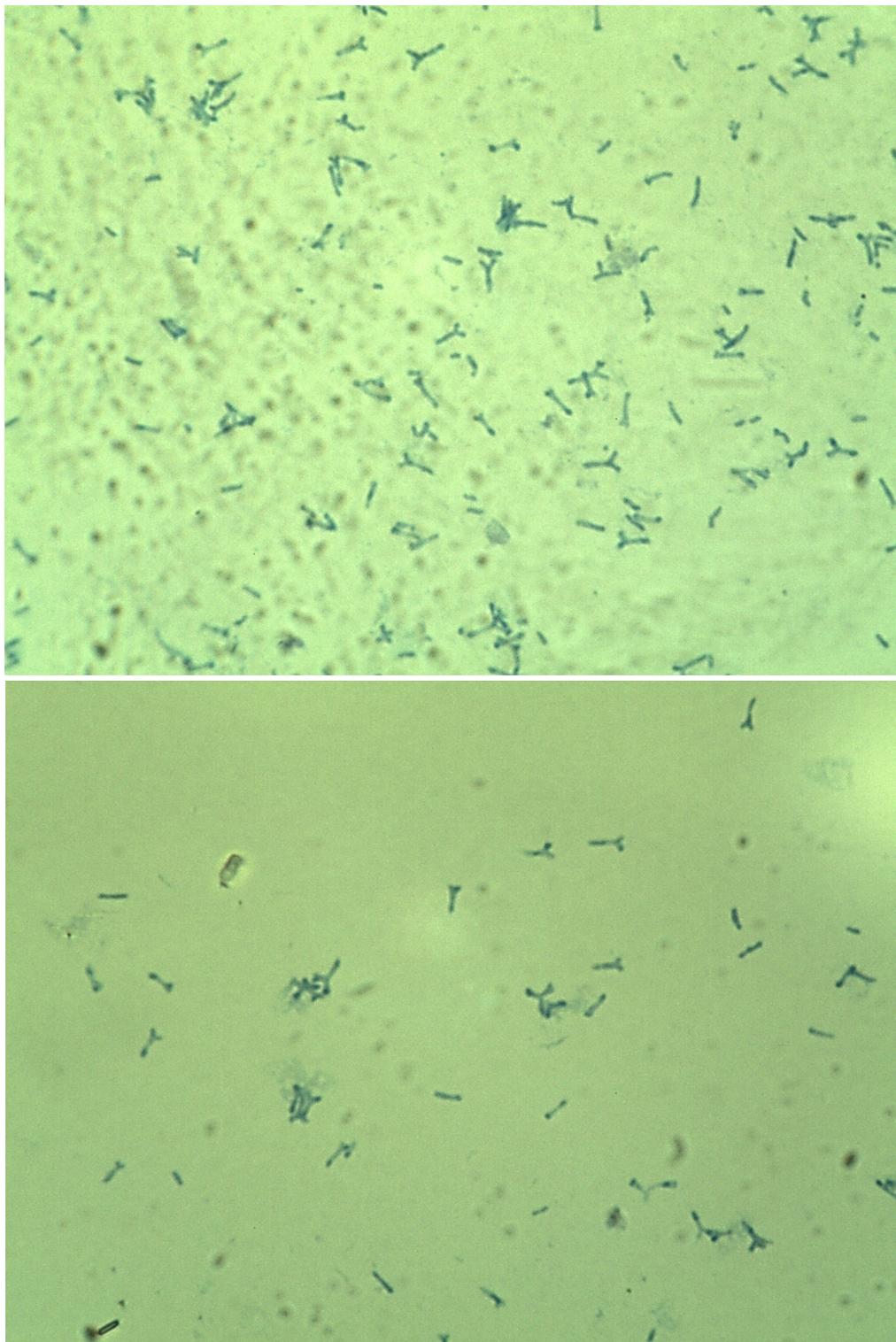
Pour chaque critère de réussite, argumenter son évaluation en notant la réussite et/ou l'erreur majeure qui a été commise.

Critère de réussite		Non	En partie	Oui
Sur le fond	Les mots clés et les idées clés essentielles sont présents et bien identifiés.			
	Ils/elles sont correctement et judicieusement ordonnés et reliés. Il n'y a pas d'erreur.			
	Le titre du schéma indique les processus que l'on a voulu schématiser.			
Sur la forme	Ils/elles sont traduits(es) par des formes simples. Ils/elles sont codés(es).			
	Les codes et symboles utilisés sont traduits dans une légende.			
	Le travail est propre soignée, facilement mémorisable et reproductible.			

Retrouvez éducol sur :



Frottis de nodosités de la vesce montrant les bactéroïdes en forme de « Y »
Observation au microscope optique. (X 1000, objectif à immersion)



Retrouvez éduscol sur :



Documents d'activité et ressources pour le deuxième temps d'activité

On recherche les voies de transfert d'azote entre deux plantes associées en culture. Voici l'une des hypothèses expliquant ces transferts :

« Si on cultive une légumineuse avec le blé, alors celle-ci lui transfère directement de l'azote qu'elle a prélevé dans l'air grâce à la symbiose qu'elle entretient avec ses bactéries ».

1. **Individuellement** (15 minutes), **exploiter les 3 documents suivants pour discuter de la validité de cette hypothèse et identifier les voies de transfert de l'azote entre ces deux plantes associées.**
 - Pour chaque document, **noter la conclusion** pouvant en être tirée (je conclus...) et **l'argumenter** en listant les informations utiles (car je vois...).
 - Compléter le schéma ci-dessous pour récapituler les mécanismes de transfert d'azote entre ces 2 plantes.
2. **Par groupe de 4** (15 minutes), mettre en commun ses conclusions et choisir le schéma et les raisonnements qui semblent les plus adaptés. **Argumenter sa réponse.**

Un schéma à compléter (aide à raisonner)

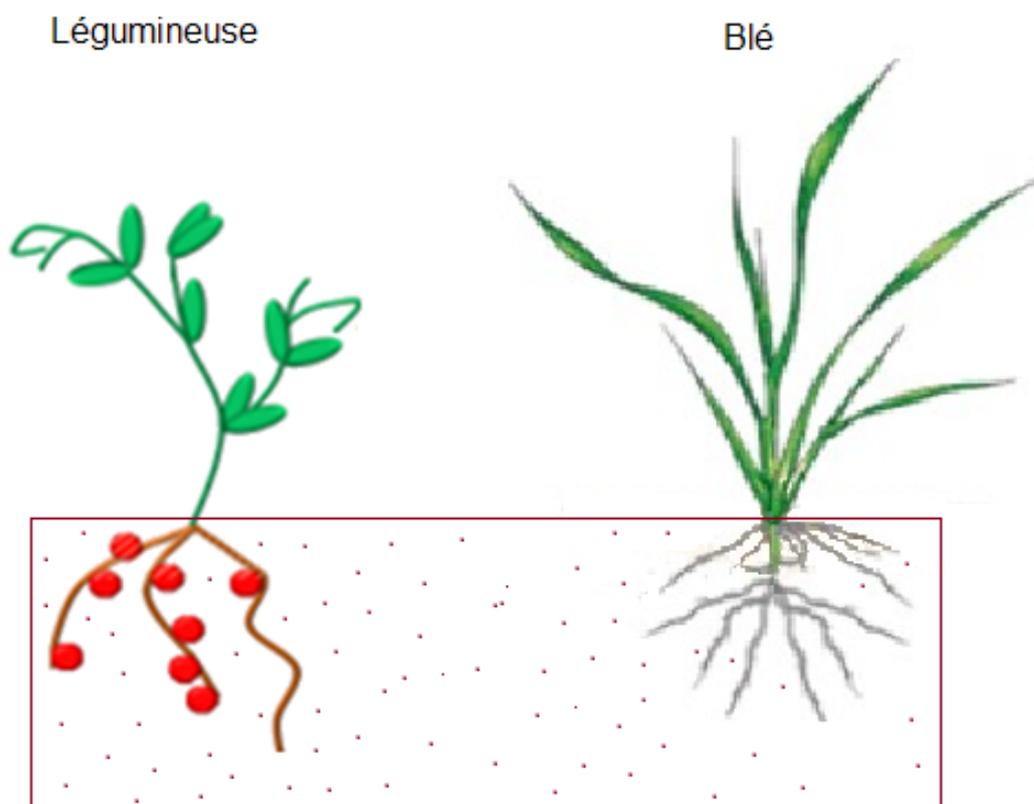


Schéma adapté de « [objectif végétal](#) » de l'Université d'Angers

Retrouvez éducol sur :



Document 1 – mesure des transferts d'azote (N) entre le blé et le pois.

Principe de l'expérience.

Des expériences menées sous serre ont permis de quantifier les flux d'azote (N) du pois vers le blé cultivé en association dans un même pot. Pour cela, des pois ou des blés ont été enrichis en isotope lourd de l'azote ^{15}N par un système de perfusion dans la plante et les transferts d'azote ont été estimés par la mesure de l'enrichissement en ^{15}N du blé ou du pois associé.

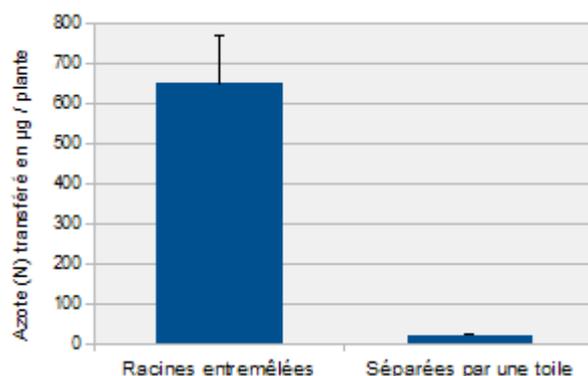
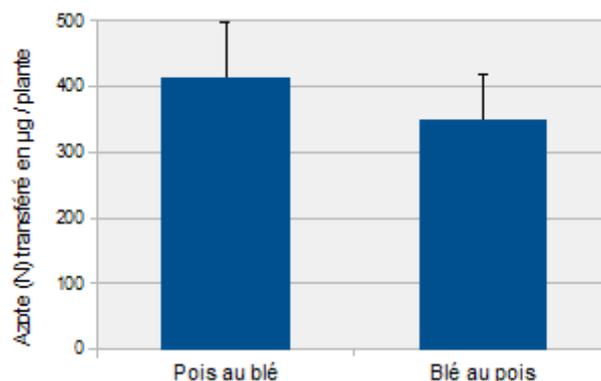


Figure 1 - Résultats des mesures des transferts d'azote (^{15}N) du pois vers le blé lorsque les racines des deux plantes sont entremêlées ou ne le sont pas.

La barre verticale indique l'incertitude des mesures liée par exemple aux erreurs de mesure par les expérimentateurs ou les matériels utilisés.

Figure 2 - Résultats des mesures des transferts d'azote (^{15}N) du pois vers le blé et du blé vers le pois lorsque les deux plantes sont à maturité (Production de graines).



Documents adaptés de « [Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse](#) » – INRA

Retrouvez éduscol sur :



Document 2 – la biodiversité du sol intervient dans des transferts indirects de substances entre les plantes.

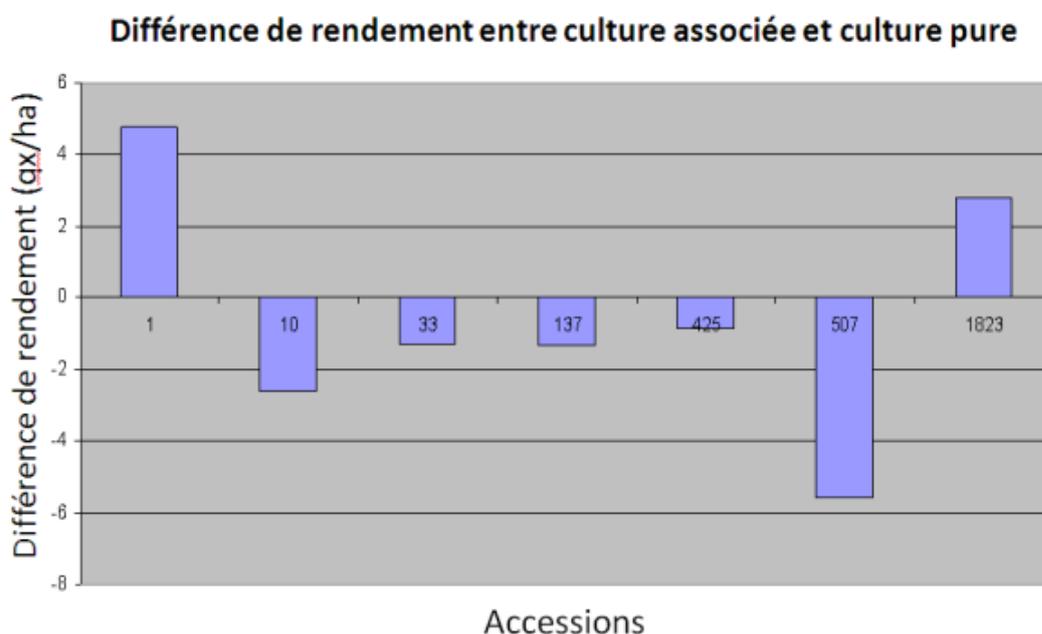
Les racines des légumineuses peuvent apporter au sol 15 % à 30 % de l'azote total que la plante a accumulé au cours de sa croissance. Cet azote est apporté sous forme de molécules organiques, moins dommageables pour l'environnement que les nitrates. Elles sont libérées par les racines. Cela peut être aussi des nodosités riches en azote qui se détachent. Leur durée de vie est d'en moyenne un mois. Lorsque l'on réduit les apports d'engrais azotés, la légumineuse apporte ainsi indirectement l'azote de l'air au sol. L'azote est transformé par la faune et les micro-organismes du sol en azote minéral qui sera, mobilisable par les plantes voisines. D'autres mécanismes sont aussi supposés comme le rôle des mycorhizes (des associations entre les filaments mycéliens des champignons du sol et les racines des plantes). Il s'agirait de voies de transferts de molécules entre organismes.

Pistes de documents à exploiter pour discuter des limites des cultures associées

Document 1 – Résultats des mesures de rendements en fonction des variétés cultivées

Le graphique ci-dessous représente les différences de rendement de 7 variétés de blés durs lorsqu'elles sont cultivées en culture pure ou associée à la lentille.

Figure - Graphique de la diversité des différences de rendement en quintaux/hectare (qx/ha) à l'association de différentes variétés de blé dur à une variété de lentilles.



Les chiffres 1, 10, 3, 137, 425, 507, 1823 correspondent aux différentes variétés de blés.

Une différence de rendement négative indique une baisse de rendement par rapport à la culture du blé seul.

Une différence de rendement positive indique une hausse de rendement par rapport à la culture du blé seul.

Source : « [Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse](#) » – INRA

Retrouvez éducol sur :

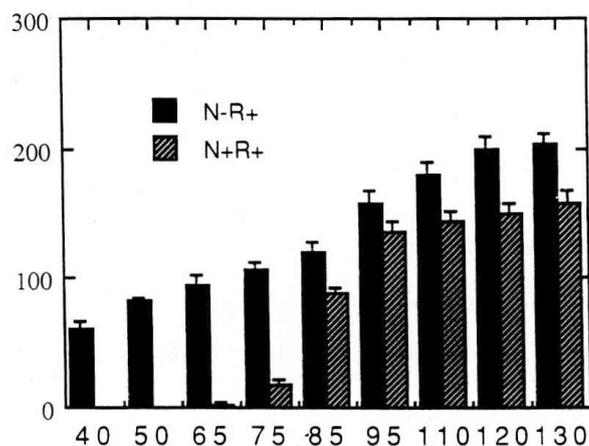


Document 2 – Évolution de la masse de nodosités chez le soja (en mg de matière sèche de nodosité /plante cultivée) cultivé en présence ou en absence d'engrais azotés

En noir [N+ R+] : les plants de soja sont inoculés (R+) par les bactéries Rhizobium et reçoivent 15 Kg d'Azote /hectare tous les 12 jours (N+, sous forme d'engrais chimique (Sels d'ammonium 35,5%).

En hachuré [N- R-] : les plants de soja sont inoculés par les bactéries Rhizobium (R+) mais ne reçoivent pas d'Azote sous forme d'engrais chimique (N-).

Source : HAL archives-ouvertes.fr



Retrouvez éduscol sur :

