

2 Flux de matière et d'énergie

Doc. 1 Bilan de matière : le cas de trois éléments minéraux

B2i

► On peut évaluer les transferts de matière entre la biocénose et le biotope d'un écosystème naturel et d'un agrosystème. On mesure les quantités de trois éléments, azote (N), phosphore (P) et potassium (K), qui transitent entre ces compartiments.

1. Interpréter. Comparer les bilans en N, P, K de l'écosystème et de l'agrosystème.

2. Analyser. Quels sont les objectifs de l'utilisation de fertilisants ?

RÉALISER

- Ouvrir le fichier Excel chap06_bilans, puis suivre les instructions afin de calculer trois bilans de matière :
 - celui de l'écosystème ;
 - ceux de l'agrosystème dans les cas où l'on suppose qu'il y a ou non apports de fertilisants.
- De même, calculer le nombre d'années au bout desquelles les stocks de N, P et K du sol seraient épuisés sans apports de fertilisants dans l'agrosystème.

	A	B	C	D	E
			Azote N (en kg/hectare)	Phosphore P (en kg/hectare)	Potassium K (en kg/hectare)
1					
2		Stocks naturels dans les sols français	3000	654	1245
3	Écosystèmes naturels	Prélèvement dans le sol par les producteurs primaires	46	5,4	50,8
4		Exportations de biomasse hors de l'écosystème	Moyenne négligeable ramenée à un hectare		
5		Restitution au sol par l'action des organismes décomposeurs	46	5,4	50,8
6		Exportations dans la biomasse récoltée	230	35	215
7	Agrosystèmes de culture type maïs	Restitution par enfouissement des résidus après récolte	11	1	32
8		Importations : apports de fertilisants	300	83	455

Le fichier Excel est disponible sur le site compagnon du manuel.

■ Bilans comparés de matière pour trois éléments. (1 hectare = 10 000 m² = 100 hm².)

Doc. 2 L'eau, élément indispensable

► Dans la forêt, la disponibilité en eau pour les végétaux est directement dépendante des facteurs climatiques (précipitations) et des facteurs du sol (capacité de rétention, porosité).

► Dans l'agrosystème « champ de maïs », les précipitations insuffisantes dans certaines régions imposent une irrigation : 700 m³/hectare sont en moyenne nécessaires pour atteindre les objectifs de production quantitatifs et qualitatifs.

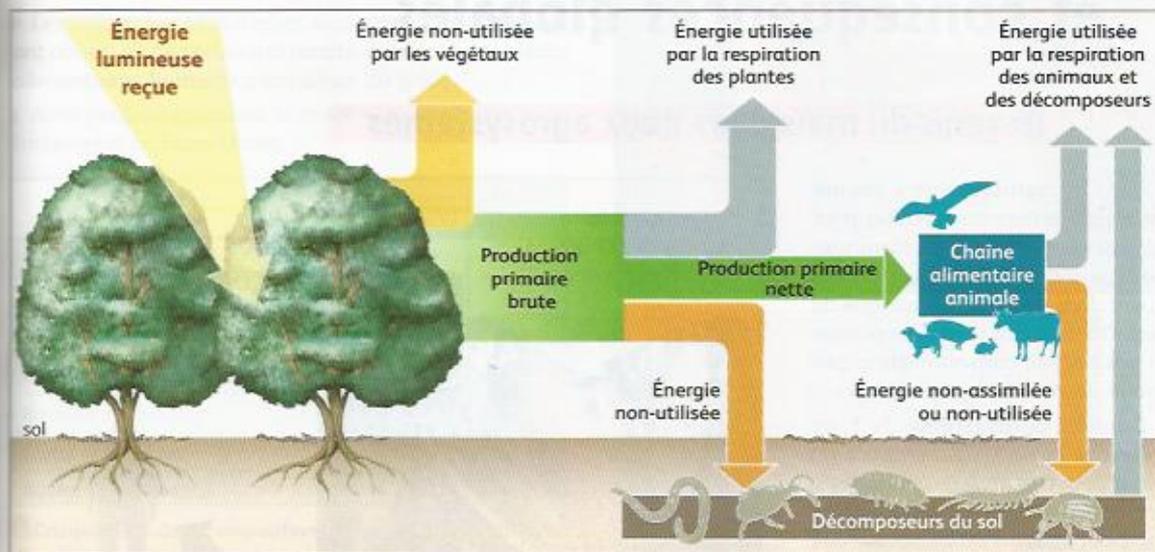
3. Lire. Expliquer les différences entre l'écosystème et l'agrosystème par rapport aux apports en eau.

4. Expliquer. En quoi l'irrigation peut-elle avoir un impact sur d'autres activités humaines ?



■ Irrigation d'un champ de maïs.

Doc. 3 Le devenir de l'énergie dans un écosystème



■ Devenir de l'énergie dans une forêt.

5. **Observer.** Quel est le bilan énergétique d'un écosystème ?

Doc. 4 L'énergie dans l'agrosystème « champ de maïs »

Afin de déterminer le rendement énergétique d'un agrosystème, on réalise un bilan des entrées et des sorties.

- **Les entrées :** énergie apportée par l'Homme sur le site de production ou consommée lors de la fabrication et du transport d'un intrant.
- **Les sorties :** énergie contenue dans la biomasse exportée de l'écosystème.

Inventaire des entrées et sorties d'énergies dans un agrosystème.

Entrées ($\times 10^3$ kJ/ha/an)	Machinisme	4 991
	Carburant	3 992
	Engrais	20 365
	Semences	598
	Irrigation	8 987
	Insecticides	259
	Herbicides	259
	Séchage	16 172
	Divers (électricité, transport)	7 988
Sorties ($\times 10^3$ kJ/ha/an)	Productivité	116 237
	Production (tonnes par hectare)	9

6. **Calculer.** Établir par le calcul le bilan des entrées et sorties d'énergies dans cet agrosystème.

7. **Mettre en relation (docs 3 et 4).** Préciser les différences entre un écosystème et un agrosystème sur le plan énergétique.

Bilan

Exercice d'auto-évaluation → Corrigés p. 276

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Justifier.

- La fertilisation a pour but unique l'amélioration des rendements de production.
- Dans un écosystème naturel, les sorties d'énergie sont compensées par une énergie solaire abondante.
- Les agrosystèmes ont un bilan énergétique négatif.

Rédiger

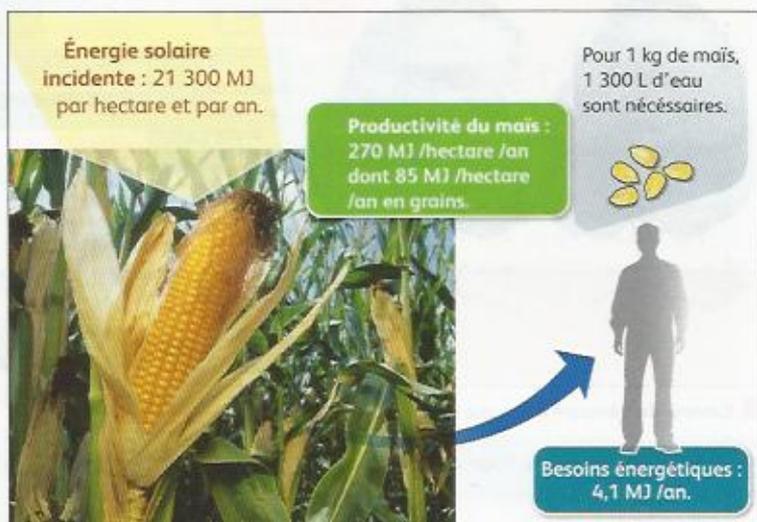
Expliquer l'affirmation :
« En raison de notre mode de production agricole actuel, nous mangeons du pétrole ».

3 Pratiques collectives et conséquences globales

Doc. 1 Devenir du maïs dans deux agrosystèmes

► Dans un agrosystème « champ de maïs », la biomasse récoltée peut nourrir directement les Hommes. Ce type d'agrosystème est très fréquent dans les pays d'Amérique du Sud. Dans ce cas, l'Homme occupe la position de **consommateur primaire** dans la chaîne alimentaire.

► Dans un agrosystème de type « élevage bovin », l'alimentation du bétail peut être assurée par du maïs. Les bovins produisent de la viande, qui peut ensuite être consommée par l'Homme. Ce type d'agrosystème est très fréquent dans les pays occidentaux. Dans ce cas, l'Homme occupe la position de **consommateur secondaire** dans la chaîne alimentaire.



1 Alimentation humaine et agrosystème « champ de maïs ».



2 Alimentation humaine et agrosystème de type « élevage bovin ».

1. **Calculer.** Déterminer le nombre théorique d'humains qu'un hectare de chacun de ces agrosystèmes peut nourrir en une année.
2. **Conclure.** Relever des arguments pour montrer que la consommation de viande n'a pas le même impact écologique que la consommation de produits végétaux.

Doc. 2 Deux modes d'alimentation

- Les différences climatiques, écologiques et culturelles ont abouti à une certaine diversité des comportements alimentaires humains à la surface du globe.
- Ainsi peut-on comparer le mode d'alimentation d'un Indien et d'un États-Unien.

	Indien	États-Unien
Céréales dont riz et blé	59	23
Sucre	13	18
Huiles végétales	7,5	15
Viande et produits dérivés	5,5	25
Racines, tubercules	7	2
Fruits et légumes	2,3	3
Autres (alcools, etc.)	5,7	12

Comparaison de la composition de la ration alimentaire d'un Indien et d'un États-Unien (valeurs en %).

D'après données FAO.

- 3. Analyser.** Comparer la composition des deux rations alimentaires proposées.



Des familles indienne (haut) et états-unienne (bas) posent devant une semaine de nourriture.

Doc. 3 L'alimentation humaine : une problématique planétaire

On s'appuie ici sur les documents présentés sur le rabat IV-V de la couverture :

- la carte des grandes productions agricoles mondiales ;
- l'utilisation du sol (graphique A) et les productions par pays de certaines filières (graphiques B à F).

4. Observer. Comparer les productions dans les pays des deux hémisphères terrestres.

5. Mettre en relation. Après avoir localisé les principales zones de production du maïs, décrivez les flux mondiaux de cette céréale.

6. Observer. Analyser l'utilisation des terres des différentes zones géographiques terrestres.

7. Interpréter. En quoi les flux alimentaires présentés sur cette carte témoignent-ils d'une évolution des modes alimentaires ?

8. Mettre en relation (docs 2 et 3). En quoi ces données mondiales révèlent-elles la complexité des besoins alimentaires de l'humanité ?

Bilan

Exercice d'auto-évaluation → Corrigés p. 276

Les affirmations sont-elles vraies ou fausses ? Justifier.

- La position de l'Homme dans la chaîne alimentaire n'a pas d'incidence sur le rendement énergétique des agrosystèmes concernés.
- Consommer un produit végétal ou de la viande a le même impact énergétique sur l'environnement.
- Les principaux producteurs de blé sont européens.
- La Chine exporte du riz.

Rédiger

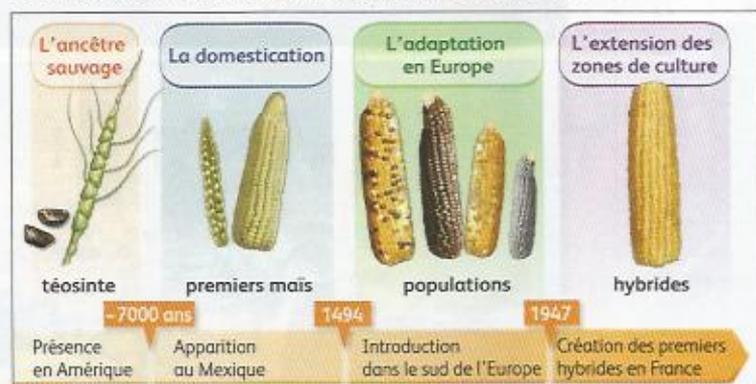
Commenter la phrase :
« L'humanité ne pourra pas se nourrir sur le modèle occidental ».

4 L'amélioration des espèces agricoles

Doc. 1 Du téosinte aux variétés hybrides de maïs

- ▶ Le maïs actuellement cultivé dans le monde entier provient d'une plante ancestrale : le téosinte, originaire du continent américain.
- ▶ Durant des centaines d'années, les hommes ont joué le

rôle de la sélection naturelle : ils conservaient les individus les plus gros, ce qui a permis une évolution agronomique de l'espèce de manière empirique. Après la découverte de la génétique, des croisements ont été réalisés.



Les différents épis des variétés apparentées au maïs actuel.

	Téosinte	Maïs cultivé
Longueur de l'épi	5 cm	30 cm
Masse moyenne d'un grain	2,5 g	0,3 g
Nombre moyen de grains par épi	40	500

Caractères des épis de téosinte et de maïs.

1. Observer. Caractériser l'évolution du téosinte au maïs cultivé jusqu'en 1947.

Doc. 2 L'obtention d'hybrides

- ▶ Parmi les observations agronomiques, on a pu remarquer que les individus provenant de croisement de souches différentes produisent les variétés les plus vigoureuses. On appelle ce phénomène la **vigueur hybride**.
- ▶ Les hybrides sont cultivés pour des espèces telles que la tomate, le melon, le tournesol ou le colza.
- ▶ Les variétés hybrides sont obtenues par la **technique de sélection-hybridation** qui s'appuie sur les résultats des travaux de Johann Gregor Mendel (1822-1884). Cette technique comporte deux phases.



Tomates Fernova, hybrides F1.

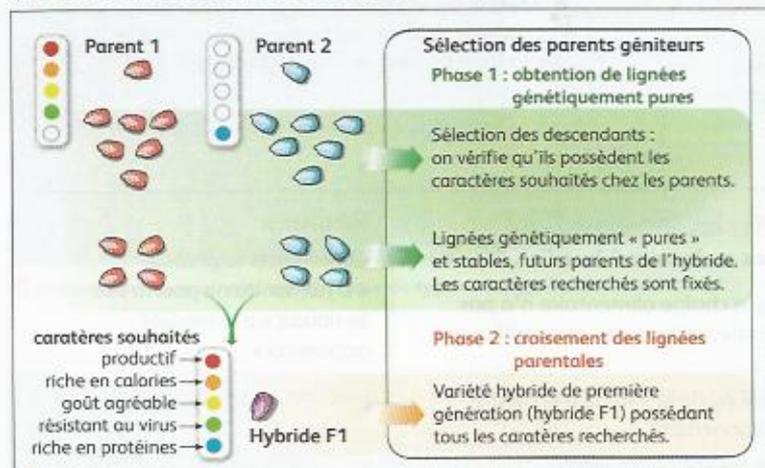


Schéma de sélection-hybridation pour le manioc.

2. Observer. Donner les intérêts agronomiques des hybrides F1.

3. Expliquer. Montrer en quoi ce processus est plus complexe que la simple sélection agronomique.

Doc. 3 Les plantes génétiquement modifiées

- Les caractères agronomiques, comme tous les autres caractères de l'espèce, sont **codés par des gènes**. Afin de modifier plus en profondeur le génome, on a réalisé des introductions directes de gènes.
- Le « **golden rice** » par exemple pourrait permettre, dans les pays où sévit la malnutrition, de diminuer les cas de cécité dus à des carences alimentaires en vitamine A. Un gène déclenchant la synthèse de bêta-carotène (précurseur de la vitamine A) est **intégré par transgénèse** dans les grains.
- D'autres recherches sont en cours pour développer des arachides, du soja et du riz hypoallergènes. Par transgénèse, il serait possible d'enlever les protéines allergènes qu'ils contiennent naturellement en bloquant l'action du gène responsable de la fabrication de ces protéines.

4. Lire. Dégager l'intérêt commun de l'obtention de plantes génétiquement modifiées dans les exemples proposés.



Champs de « golden rice » élevés au IRRI en Chine.



Jeunes plants de « golden rice » élevés au IRRI (Institut International de Recherche sur le riz).

Doc. 4 Amélioration des races : transfert de gènes et clonage

- Ici, l'objectif agricole est l'obtention d'individus offrant une résistance à une maladie ou des performances zootechniques améliorées (comme une production laitière accrue).
- L'**association du clonage et de la transgénèse** ouvre dans ce domaine de nouvelles perspectives. La transgénèse permet l'incorporation de gènes assurant certains caractères génétiques souhaités. Le clonage permet ensuite de multiplier les individus en **conservant les informations génétiques**.
- Initialement menés sur l'espèce bovine, ces travaux sont actuellement étendus, avec succès, à d'autres espèces comme le lapin, les ovins et les caprins.

5. Schématiser. Représenter à l'aide d'un schéma les deux techniques évoquées permettant d'obtenir un ensemble d'animaux génétiquement identiques et possédant un gène leur conférant un caractère agronomique « remarquable » (par exemple : tolérance à la brucellose chez les bovins).



Afin d'identifier les gènes permettant d'assurer certains caractères, les scientifiques analysent et comparent les génomes de différents individus.

Bilan

Exercice d'auto-évaluation → Corrigés p. 276

Les affirmations sont-elles vraies ou fausses ? Justifier.

- L'intérêt des hybrides repose sur leur propriété de combinaison de caractères leur conférant une productivité accrue.
- L'obtention de plantes génétiquement modifiées a pour seul objectif l'amélioration de leur productivité.
- Le transfert de gènes chez les animaux, associé au clonage, permet d'obtenir des individus strictement identiques aux parents.

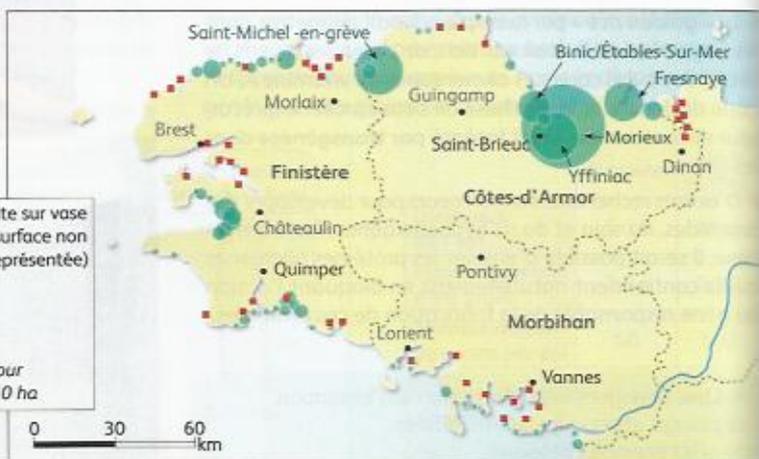
Rédiger

Montrer que les différentes techniques abordées dans les documents permettent à la fois d'atteindre des objectifs de productivité (rendement) et des objectifs qualitatifs.

5 Impacts des pratiques agricoles

Doc. 1 La pollution par les nitrates

- ▶ La présence de fortes quantités de nitrates dans l'eau favorise la prolifération des algues à l'origine de marées vertes.
- ▶ Ceci s'observe de manière particulièrement importante en Bretagne.



a Surfaces couvertes par les algues vertes cumulées lors des trois inventaires de surveillance de la saison 2009.

Source : Ifremer.

b Marée verte en Bretagne. En médaillon : épandage de lisier.

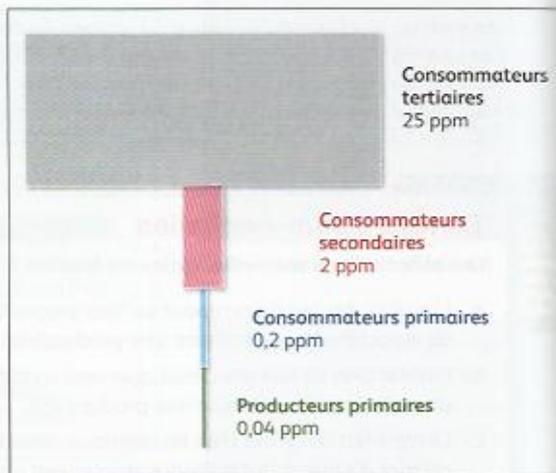
1. **Interpréter.** Proposer une explication au surplus de nitrates dans les sols et les rivières de Bretagne.
2. **Expliquer.** Formuler une hypothèse permettant d'expliquer la prolifération d'algues sur les côtes.

Doc. 2 Polluants et chaînes alimentaires

- ▶ Un insecticide, le DDT, dont l'utilisation est désormais interdite, a été largement employé dans les années cinquante. La présence de cette molécule a été relevée dans les eaux marines à des concentrations extrêmement faibles (0,000 005 partie par million ou ppm).
- ▶ Un suivi des concentrations de cette substance dans les tissus des espèces le long de la chaîne alimentaire a alors été réalisé.

3. **Calculer.** Pour chaque élément de la chaîne alimentaire, calculer le taux d'accumulation du pesticide par rapport à la concentration relevée dans les eaux marines.

4. **Émettre une hypothèse.** Montrer alors que la présence de produits phytosanitaires dans les eaux peut au final avoir des conséquences sur la santé humaine.



Pyramide des concentrations des polluants.

Doc. 3 Utilisation de plantes génétiquement modifiées

- Cultivé sur près de 1,5 million d'hectares en France, le colza est une production importante pour notre agriculture.
- Si sa culture est relativement aisée malgré sa forte demande en azote, le développement de nombreux adventices nécessite un **désherbage fréquent**. Si le désherbage mécanique est possible avant la levée, la faible tolérance du colza aux herbicides classiques rend cette solution délicate, et parfois **sans effet sur certaines espèces adventices** particulièrement endurentes, comme la ravenelle.
- La création d'un colza OGM tolérant à un herbicide total pourrait donc être l'une des voies envisageables pour augmenter la production et limiter les différents traitements nécessaires à l'élimination des adventices du colza. Cet OGM existe d'ores et déjà : il est obtenu par **l'introduction d'un gène** de résistance à un herbicide total dans le génome du colza.

VOCABULAIRE

- ▶ **Adventice** : plante non souhaitée dans une culture.

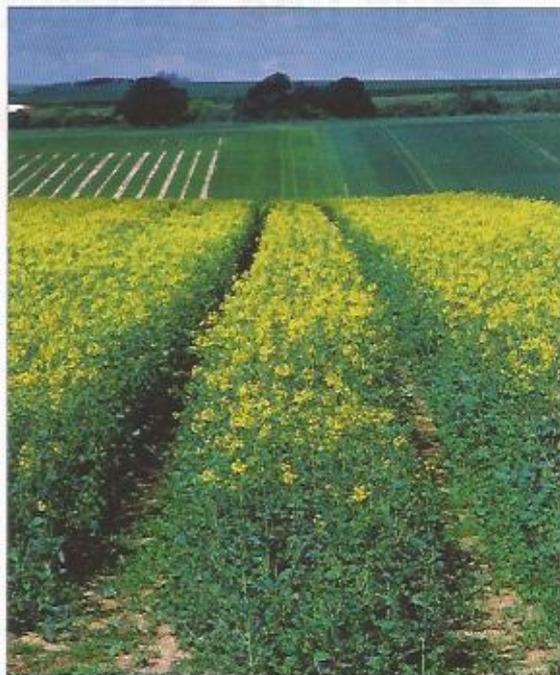
Les plantes s'hybrident à tout vent, avec leurs consœurs et aussi les espèces parentes. Elles peuvent donc disséminer le gène dont la science les a dotées. Une équipe danoise, conduite par Rikke Jorgensen, a semé le trouble en démontrant que le colza résistant à un herbicide transmettait son gène à une mauvaise herbe, la ravenelle, proche parente fort répandue sur le Vieux Continent.

© Corine Bensimon, LIBÉRATION, 03/12/1996.

- ▶ Des arguments en défaveur des OGM.

5. Interpréter. Préciser l'intérêt agronomique d'obtenir des colzas génétiquement modifiés résistants à un herbicide total.

6. Raisonner. Discuter des avantages et des inconvénients des OGM.



▶ Champ de colza génétiquement modifié (Angleterre).



▶ Fleur de ravenelle.

Bilan

Exercice d'auto-évaluation → Corrigés p. 276

Les affirmations sont-elles vraies ou fausses ? Justifier.

- L'azote contenu dans le lisier peut être considéré comme un polluant des cours d'eau.
- Le dépassement des normes en concentration de pesticides dans les eaux souterraines pose des problèmes de santé publique.
- L'apparition d'adventices résistantes à des herbicides permettra une meilleure production laitière.

Rédiger

À l'aide d'exemples, montrer que nos pratiques agricoles peuvent avoir un impact sur la santé ou sur l'environnement.

6 Des pratiques agricoles pour une agriculture durable

Doc. 1 Des techniques alternatives

Travail du sol	Agriculture traditionnelle avec labour	Labour superficiel du sol	Pas de labour et semis direct
Temps passé à l'hectare en heures	3,3	2,3	1,1
Matière organique présente dans le sol sur les cinq premiers centimètres	2 %	2,7 %	3,1 %
Érosion du sol	Sol nu très vulnérable à l'érosion	Effet variable	Érosion nettement moindre
Quantité de lombrics	198 kg/ha	590 kg/ha	670 kg/ha
Nombre de passages au champ par l'agriculteur	8 passages au champ	6 passages au champ	4 passages au champ
Consommation de carburant (exemple : blé tendre)	99 L/ha/an	79 L/ha/an	57 L/ha/an
Nombre moyen de passages avec herbicides (exemple : blé tendre)	1,4 passage avec herbicide	-	1,7 passage avec herbicide
Rendements 2005-2006 (exemple : blé tendre)	72 quintaux/ha	-	69 quintaux/ha

■ Comparaison de différentes techniques d'agriculture. (ha = hectare ; 1 quintal = 100 kg.)

1. Analyser. Montrer les intérêts du labour superficiel et du semis direct sur le plan de la limitation des effets des pratiques culturales.

Doc. 2 Exploiter les interactions végétaux/milieu



4 Champ de phacélie.



5 Bandes enherbées.

- ▶ Implantées après la récolte, des plantes, comme la phacélie, sont **utilisées comme couvre sol**, concurrençant les plantes adventices et protégeant la surface du sol des intempéries.
- ▶ Ces plantes « **piègent les nitrates** » : grâce à leur système racinaire, elles prélèvent les fertilisants qui n'auraient pas été absorbés par la culture.
- ▶ À la fin de leur phase de croissance, elles sont détruites et les résidus sont enfouis dans le sol de la parcelle, limitant ainsi le lessivage des nitrates vers les nappes d'eau souterraines.
- ▶ L'implantation de **bandes enherbées**, semées par l'agriculteur, en bordure des cours d'eau permet de limiter le ruissellement des engrais vers le cours d'eau.

2. Interpréter. Préciser l'objectif commun à l'implantation de cultures intermédiaires et de bandes enherbées.

Doc 3 Favoriser les interactions au sein de l'agrosystème

En cultivant deux espèces différentes sur une même parcelle, l'agriculteur peut tirer **bénéfice des interactions** entre les deux peuplements.

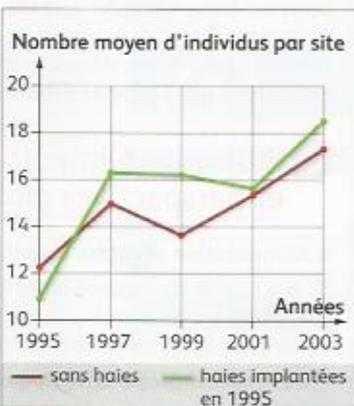
Par exemple, dans la culture associée de blé et de trèfle, le trèfle a pour propriété de fixer l'azote de l'air pour le



Des cultures associées : blé et trèfle.

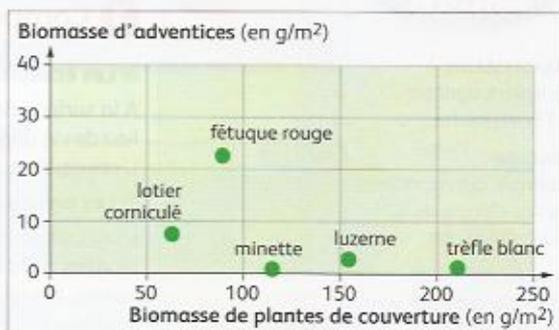
De nombreux travaux ont montré que l'**implantation de haies** autour des parcelles assurait la multiplication de nombreuses espèces d'insectes qualifiés d'**auxiliaires** de l'agriculture (comme les coccinelles ou les chrysopes dont les larves consomment pucerons et chenilles, ravageurs de culture). À leur tour, ces auxiliaires **servent de nourriture** à des nombreuses espèces d'oiseaux et autres musaraignes.

Évolution de l'abondance d'espèces d'oiseaux insectivores.



transformer en azote minéral qui devient alors **directement disponible pour le blé**.

Les cultures associées (ou plantes de couverture) permettent également de lutter contre la prolifération des plantes adventices concurrentes.



Évolution de la quantité de plantes adventices en fonction de la quantité de plantes de couverture.



Larve de chrysope consommant un puceron.

3. Interpréter. Dégager les intérêts agronomiques et écologiques des cultures associées présentées ici.

4. Expliquer. Montrer comment la présence de haies peut permettre une régulation des populations de ravageurs des cultures.

Bilan

Exercice d'auto-évaluation → Corrigés p. 276

Les affirmations sont-elles vraies ou fausses ? Justifier.

- Le semis direct limite le nombre d'interventions sur la parcelle et a donc comme unique effet d'augmenter l'impact énergétique.
- La gestion durable de l'environnement passe par la préservation de la qualité des eaux profondes et superficielles.
- La gestion raisonnée des interactions entre la plante cultivée et son environnement dans l'agrosystème permet de préserver la productivité sans l'augmenter.

Rédiger

Résumer les différentes techniques et pratiques culturales présentées permettant de concilier production agricole et gestion durable de l'environnement.