

Quelle place pour le pois dans une agriculture respectueuse de l'environnement ?

Argumentaire agri-environnemental

Nathalie Munier-Jolain¹
Benoît Carrouée²

¹INRA,
Unité de génétique et d'écophysiologie
des légumineuses,
17, rue Sully,
BP 86510,
21065 Dijon Cedex,
France

<munierjo@dijon.inra.fr>

²UNIP,
12, avenue George V,
75008 Paris,
France

Résumé

Dans des systèmes de culture respectueux de l'environnement, la culture du pois protéagineux offre des atouts particuliers de par la qualité de ses produits, la nature et le coût énergétique et environnemental de ses besoins, et son rôle dans la conduite de systèmes de production respectueux de l'environnement. D'une part, le pois présente des caractéristiques intrinsèques favorables telles que la qualité protéique de ses graines pour les filières animales labélisées, ses faibles besoins en eau et en énergie non renouvelable par rapport aux autres cultures et, enfin, son aptitude à fixer l'azote atmosphérique. D'autre part, la présence de pois dans les rotations de grandes cultures facilite la gestion des problèmes environnementaux liés à la fertilisation azotée ainsi que la gestion raisonnée des ennemis des cultures. Son autonomie vis-à-vis de l'azote permet une réduction significative des rejets de gaz à effet de serre. Le pois s'affiche ainsi comme une solution utile pour la diversification des cultures rendue indispensable pour un meilleur respect de l'environnement.

Mots clés : Agronomie ; Phytotechnie ; Environnement.

Summary

Considering pea in sustainable agriculture: agricultural and environmental arguments

The dry pea crop has major advantages in sustainable farming systems: i) its nutritional characteristics are well adapted to quality meat husbandry; ii) pea has low requirements for water, chemicals and fossil energy; iii) its ability to symbiotically fix atmospheric nitrogen precludes the supply of N-fertilizer; iv) its use may help in diversifying crop rotation, allowing a lower input of pesticides at the rotation level.

Dry pea can be easily stored and transformed by both the industry and animal breeders. Pea seeds constitute a valuable material for animal feeding mostly because they have high starch and digestible protein contents, with a very high lysine/protein ratio. Moreover, the pea is efficiently valued in the "labeled" animal breeding quality programs.

As water requirements of peas are low over the growth cycle, irrigation in septentrional areas is unnecessary and when irrigation has to be provided, the water needs of the pea crop do not overlap with the requirements of other spring crop. Having the ability to symbiotically fix atmospheric dinitrogen (N₂) pea produces, without any nitrogen fertilization, seeds having a high protein level. Supplying combined N does not increase either seed yield or N content. Because of its low requirements for pesticides and fertilizers pea has lower energetic costs than wheat. It also reduces the emissions of N₂O, NO_x and CH₄, which, in addition to the CO₂ savings, significantly reduces the greenhouse effect due to agricultural activities.

Chemical management of weeds is highly risky for the environment and this has led to the selection of weed resistance in cereal cropping systems. In such systems, pea presents an alternative for diversifying crop rotation. It further allows to vary i) the nature of the herbicides being applied on the crop rotation and ii) sowing dates which represent a non-chemical mean to reduce weed infestation. An example of how weed infestation may be controlled by pea introduction in the crop rotation is shown in Figure 3. Similarly, introduction of a pea crop in cereal rotations reduces the influence of parasites.

Because of its autonomous nitrogen nutrition, pea avoids environmental risks due to both the fabrication and the use of chemical nitrogen fertilizers. When availability of soil

mineral nitrogen is low, pea nitrogen nutrition relies mainly on symbiotic N_2 fixation. As soil mineral nitrogen availability increases, uptake and assimilation of nitrates efficiently complement with symbiotic fixation for an optimum nitrogen nutrition.

The difference between the amount of nitrogen exported to the dry seeds and that accumulated by the nitrogen fixation is in most cases close to zero, so that the dry pea crop does not enhance the global amount of nitrogen in the soil. However, high levels of residual mineral nitrogen in the soil after a pea crop can occur and may result from either a low nitrogen uptake due to the shallow pea root system or an early maturity which prevents the crop from retrieving all the nitrogen arising from the summer mineralization of organic matter. Even when nitrogen mineralization is high during the summertime, risks of nitrate leaching during the following winter period are still not greater for a pea crop than for many others crops. However when the risks of nitrogen leaching are high and because of the early maturity of pea, an intermediate crop "nitrate-trap" may be sown before wheat.

Because of its paramount and original role in a management of the cropping systems which tries to better respect the environment, pea should gain larger interests when sustainable agriculture is promoted. Indeed dry pea has high potential intrinsic characteristics concerning quality, which fit the needs of the "labeled" animal feed production network, and concerning low input (water, nutrients and energy) requirements. Besides, in order to set up such a kind of innovative agriculture, diversifying crop succession is a prerequisite in order to reasonably reduce mainly herbicides, pesticides uses at crop rotation level without compromising the durability of cropping systems. This implies the mastering of the nitrogen budgets in crop successions, especially during the winter period that precedes or even more follows pea.

Key words: Agronomy; Phytotechnics; Environment.

Depuis la réforme de la PAC en 1992, le déficit européen en matières riches en protéines, en particulier pour l'alimentation animale, est resté important, et a même été aggravé par la suspension de l'utilisation des farines et graisses animales : la consommation européenne de matières riches en protéines pour l'alimentation animale est de 3,8 millions de tonnes (en équivalent protéines) avec un taux de couverture par les matières riches en protéines européennes de 26 % (statistiques de l'Union nationale interprofessionnelle des plantes riches en protéines ou Unip, 2002). Alors que 60 % des besoins sont couverts par des importations de soja, les protéagineux (pois, lupin, féverole) contribuent à satisfaire une partie de ces besoins.

Dans le même temps, l'analyse de l'impact environnemental de la production agricole est devenue une nécessité pour les professionnels agricoles et les décideurs politiques, tant pour les discussions sur les normes réglementaires que pour l'argumentaire fondant la mise en œuvre de mesures incitatives. L'intérêt agri-environnemental d'une culture peut se définir au travers de la qualité de ses produits, de la nature et du coût énergétique et environnemental de ses besoins et, enfin, de son rôle dans la conduite de

systèmes de production respectueux de l'environnement.

Face à ce double constat de forte demande de matières riches en protéines et de prise en compte de l'impact environnemental des cultures, la production agricole européenne se présente de façon singulière avec moins de 5 % de la surface de grandes cultures (céréales, oléagineux, cultures industrielles) allouée aux légumineuses à graines, alors que leur place avoisine 20 à 30 % en Amérique du Nord et du Sud et en Australie. Or, les protéagineux présentent des produits aux caractéristiques nutritionnelles adaptées aux filières de qualité, mais aussi des caractéristiques environnementales communes à l'ensemble des plantes de la famille des légumineuses, liées entre autres à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et donc à satisfaire leurs besoins en azote sans aucun apport d'engrais azoté minéral ou organique. Or, 20 à 30 % du coût énergétique de la production agricole est imputable à la fabrication et à l'utilisation des engrais azotés.

Parmi les cultures protéagineuses, le pois sec (appelé en France pois protéagineux pour les variétés sans tanins) semble le plus adapté aux climats européens, en particulier du nord de l'Europe, avec 75 % de la surface en protéagineux en Europe

et en France. Malgré un développement récent de la culture de type hiver, le principal type cultivé reste le pois de printemps sur plus de 95 % des surfaces cultivées en pois.

L'objet de cette synthèse est de recenser chez le pois de printemps, d'une part, les atouts qualitatifs de la production pour satisfaire la demande de matière riche en protéines et, d'autre part, son intérêt pour l'équilibre des rotations, dans le but d'améliorer les impacts environnementaux agricoles.

Des produits de qualité pour l'alimentation animale et humaine

Le pois sec est un produit facilement stockable par les industriels et les éleveurs.

- Le pois présente une graine ronde et à tégument épais, de ce fait facile à ventiler et à sécher en cours de stockage : ces aptitudes à la ventilation et au séchage limitent fortement les attaques par les

Tableau 1. Composition du pois en comparaison du blé et du soja [1].

Table 1. Composition table of pea, soybean meal, and wheat [1].

	Pois	Blé	Tourteau de soja
Amidon ⁽¹⁾	512	689	34
Protéines ⁽¹⁾	240	131	519
Tryptophane ⁽¹⁾	2	1,6	7
Lysine/protéines ($\times 10^{-2}$)	7,5	2,8	6,4
Énergie nette ⁽²⁾	2 740	2 960	2 150

⁽¹⁾ en g.kgMS⁻¹⁽²⁾ en kcal.kgMS⁻¹

insectes, mais aussi le développement de mycotoxines, d'endobactéries et de salmonelles (enquête Tecaliman, 1996). Par ailleurs, les résidus phytosanitaires présents sur les graines sont faibles (enquête Unip-Cetiom, 1994 ; enquêtes Unip-ITCF qualités des pois, 2001 et 2002)

- Les variétés de pois protéagineux, sans tanins et à faible activité antitrypsique, ne contiennent pas ou que très peu de facteurs antinutritionnels : les graines peuvent donc être utilisées en l'état, sans traitement thermique ni solvant, par simple broyage ou granulation, quel que soit le type d'animal.

Par ailleurs, le pois constitue une matière première intéressante pour l'alimentation animale, en particulier des porcs et des volailles, car sa composition est caractérisée par des teneurs élevées (tableau 1) [1] :

- en amidon et en protéines digestibles, qui lui donnent une valeur énergétique nette élevée proche de celle du blé ;

- en lysine : le ratio lysine/protéine très élevé du pois (supérieur à celui du soja) permet de pallier le déficit en cet acide aminé chez les céréales tout en minimisant la teneur en azote total de la ration. Cette bonne adéquation entre la composition des associations pois et céréales par rapport aux besoins azotés des porcs et des volailles entraîne une réduction de la quantité d'azote excrétée par les animaux de l'ordre de 20 % comparativement à une ration soja/blé [2]. De plus, le phosphore présent dans le pois offre une meilleure digestibilité que celui qui est présent dans le soja (table du Central Veevoerbureau ou CVB) et permet donc de réduire les rejets en phosphore des élevages. Les performances de digestibilité tant de l'azote que du phosphore du pois constituent ainsi des atouts dans la lutte contre l'eutrophisation due aux épandages d'effluents d'élevage.

Cependant, la faible teneur en tryptophane et en méthionine des protéines du

pois, acides aminés essentiels pour l'alimentation des non-ruminants, constitue un inconvénient, en particulier par rapport au soja : ainsi, dans certains cas, les rations doivent être complétées par des acides aminés industriels.

Par ailleurs, le pois est une matière première très prisée en production animale « biologique » et pour la production de volailles sous label de qualité, pour trois raisons :

- l'obtention du label « biologique » implique l'assurance de la non-utilisation d'OGM dans l'alimentation des animaux et interdit donc l'utilisation des tourteaux de soja en l'absence de traçabilité. Le pois, comme les autres matières premières européennes riches en protéines, constitue alors une alternative intéressante ;

- pour la production de volailles « fermières » ou sous « Label Rouge », l'objectif de production d'espèces de poulets à croissance lente (par rapport à une production intensive) nécessite des aliments moins concentrés en énergie et en azote que pour les volailles à croissance rapide. Cela se traduit ainsi par un rapprochement de la ration utilisée en production porcine pour laquelle le pois est particulièrement bien adapté ;

- dans les filières de production régies par des cahiers des charges, les signes d'authenticité et de terroir sont importants : avec une production française forte, le pois peut renforcer l'image d'un produit de terroir recherchée pour les productions labélisées.

L'alimentation animale n'est pas l'unique débouché du pois. Son utilisation comme ingrédient agro-alimentaire est actuellement renforcée par la demande des consommateurs européens de produits indemnes d'OGM. En alimentation humaine traditionnelle, le pois, de même que les autres légumes secs, est un aliment indispensable pour les populations peu consommatrices de produits carnés ;

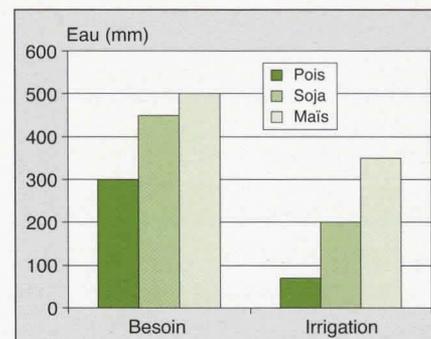


Figure 1. Besoins totaux en eau des cultures au cours du cycle et contribution moyenne de l'irrigation à la satisfaction des besoins dans les systèmes irrigués français (Source Unip-ITCF, Inra-Agro Montpellier).

Figure 1. Water requirements for three crops over their growth cycle. Mean contribution of irrigation in irrigated systems in the south part of France.

ainsi, le pois produit en France est de plus en plus apprécié en Inde, au Bangladesh et dans le Maghreb, comme le montre l'augmentation importante de l'exportation de pois jaunes, vers l'Inde en particulier, au cours de ces dernières années.

Une culture économe

Une culture peu consommatrice en eau

Les besoins en eau d'une culture de pois de printemps sont évalués à environ 300 mm pour atteindre un niveau de rendement proche du potentiel, contre 450 mm pour le soja et 500 mm pour le maïs (figure 1).

Dans la plupart des climats européens, la répartition de la pluviométrie par rapport au cycle de la culture permet d'envisager la culture sans irrigation du pois beaucoup plus facilement que celle du soja ou du maïs ; ainsi, en zones de culture septentrionales, plus de 90 % de la surface en pois est conduite sans irrigation.

Dans les régions à déficit hydrique marqué et précoce, la mise en place de pratiques d'irrigation raisonnées conduit à une irrigation de 50 à 80 mm au maximum pour tout le cycle. De plus, ces besoins en eau se situent à la fin du printemps, entre la floraison et le début du remplissage des graines [3], à une période où la disponibilité en eau au sein des exploitations est relativement importante : en effet, les cultures d'été nécessitant une irrigation importante, tels le soja

ou le maïs, ont des besoins en eau plus tardifs. Par conséquent, non seulement les besoins d'irrigation du pois sont faibles mais, en plus, ils s'insèrent facilement dans la gestion de l'eau à l'échelle de l'exploitation.

Une culture à faible consommation en énergie fossile et intrants chimiques

Nutrition azotée

Comme toutes les légumineuses, le pois présente une aptitude à fixer l'azote atmosphérique grâce à la symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminosarum* dans le cas du pois). Cette voie de prélèvement de l'azote permet d'obtenir un produit agricole riche en protéines sans recourir à des apports d'azote minéral issu de l'activité industrielle, principal poste de consommation en énergie fossile en agriculture. Dans la plupart des conditions de culture en France, cette voie d'acquisition de l'azote est suffisante pour assurer le rendement potentiel. En effet, de nombreux travaux ont montré que l'apport d'azote minéral au cours du cycle (jusqu'à la floraison) ne permet généralement pas d'obtenir un rendement supérieur, ni une teneur en protéines des graines plus élevée [4], comme l'illustre la figure 2 [5].

L'aptitude à fixer l'azote atmosphérique contribue largement à placer le pois parmi les cultures les moins consommatrices en énergie non renouvelable, loin devant les cultures non légumineuses à fort niveau de fertilisation azotée. À titre d'exemple, l'engrais azoté contribue à environ 60 % de la charge énergétique pour une culture de blé (tableau 2) [6].

Cependant, le coût en carbone de la mise en place des structures nodulaires et du fonctionnement de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique est supérieur à celui qui est associé à l'absorption minérale : ce surcoût se fait au détriment de la biomasse racinaire qui est donc plus importante pour des plantes reposant sur l'absorption minérale [5, 7]. La diminution de l'enracinement du pois en conséquence du prélèvement d'azote atmosphérique peut constituer un inconvénient pour le prélèvement d'eau ou de nitrates. Par conséquent, en conditions limitantes, en particulier en situation de déficit hydrique en fin de cycle, les plantes ayant pu développer un système racinaire important et profond grâce à la présence de nitrates dans les sols inhibant partiellement la fixation symbiotique en début de

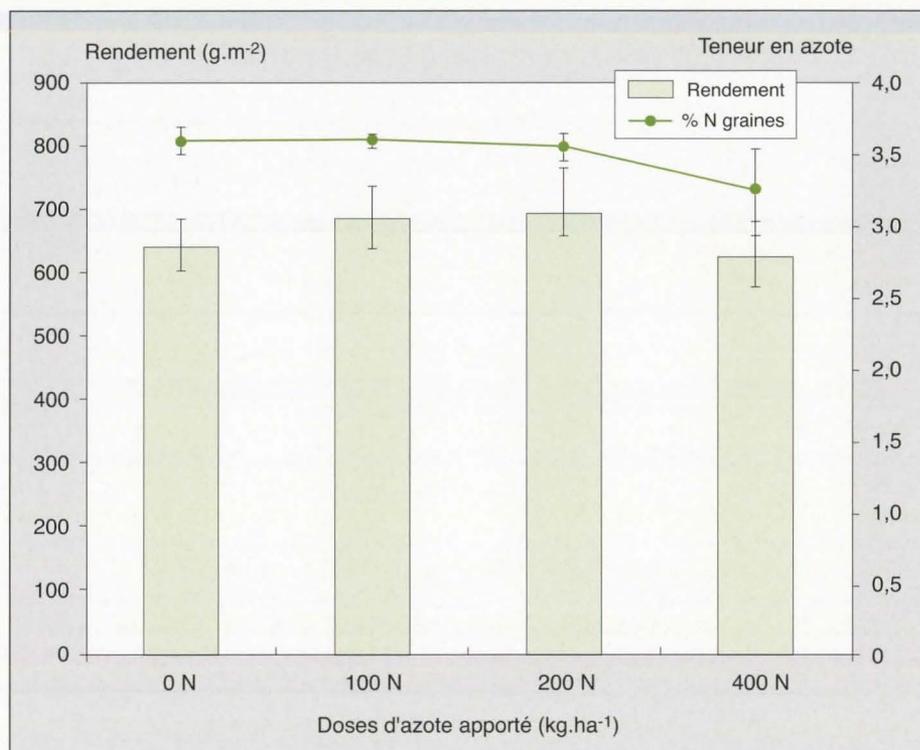


Figure 2. Exemple de l'effet d'un apport d'azote minéral au semis sur le rendement et la teneur en azote du pois [5].

Figure 2. Effect of nitrogen supply at sowing on yield and seed nitrogen content [5].

cycle seraient plus aptes à résister aux stress. Il convient donc de rechercher l'optimum de complémentarité entre assimilation et fixation sur l'ensemble du cycle de la plante afin d'optimiser la mise en place du système racinaire et le prélèvement par la plante des ressources du sol.

Protection phytosanitaire

La protection phytosanitaire du pois de printemps demande quatre à cinq interventions dont le coût en produits par hectare est inférieur d'environ 30 à 45 euros à celui du blé. Les herbicides, fongicides et insecticides représentent

respectivement 20, 14 et 8 % du coût moyen de la culture (moyenne des charges opérationnelles 1997-2001, statistiques Unip, 2002). En l'absence de fertilisation azotée, la part des produits phytosanitaires dans le total des charges opérationnelles est de près de 45 %. Si quatre à cinq interventions phytosanitaires par cycle cultural sont en général suffisantes, ce nombre est modulé en fonction de la pression de la flore adventice, des maladies et des ravageurs.

Pour le désherbage, l'application de programmes adaptés à la flore à des doses

Tableau 2. Résultats énergétiques par culture et en moyenne pour deux rotations [6].

Table 2. Energetic costs for pea and wheat, and mean value for crop rotations [6].

	Charges énergétiques (GJ.ha ⁻¹)	Produits énergétiques (GJ.ha ⁻¹)	Efficience énergétique
Pois	8,2	80,3	9,82
Blé après pois	16,9	137,1	8,12
Moyenne rotation pois/blé	12,5	108,7	8,67
Monoculture blé	19,4	116,8	6,11

GJ : gigajoule.

modulées permet une maîtrise satisfaisante de la flore adventice du pois en une ou deux interventions (pré et/ou post-levée). Le développement récent des associations post-levées, en particulier à base d'aclofen et de bentazone, a permis une réduction très sensible de la quantité de matière active consommée.

Une protection fongique et contre les ravageurs satisfaisante est généralement obtenue avec deux interventions à partir de la floraison pour le pois de printemps. En ce qui concerne l'antracnose, maladie la plus fréquemment rencontrée sur le pois, outre la recherche de résistance variétale par les généticiens, des travaux de recherches sont en cours concernant le raisonnement des traitements en fonction des risques épidémiques (climat, pression d'inoculum) et des seuils de nuisibilité de la maladie.

Cependant, la France doit faire face actuellement à la progression d'*Aphanomyces euteiches*, champignon du sol pour lequel il n'existe encore aucun moyen de lutte efficace : le développement de cette maladie dans les bassins de production majeurs du pois de printemps porte un préjudice important à cette culture. En l'absence de méthodes de lutte efficaces, seule une gestion raisonnée de la sole avec un test de détection de la présence d'*Aphanomyces* à partir d'échantillons de sols permet d'éviter les risques de maladies. Des recherches en cours portent sur le traitement des semences, la résistance partielle et l'effet de certaines plantes de rupture (moutarde en culture intermédiaire en particulier) pour réduire la pression d'inoculum. En effet, des cultures intermédiaires de la famille des Brassicacées sont citées dans la littérature comme étant susceptibles de réduire le potentiel infectieux de sols infestés par certains pathogènes telluriques. Les produits issus de la dégradation des glucosinolates contenus dans ces plantes pourraient affecter certaines phases du cycle du pathogène (mycélium, forme de conservation, etc.) [8].

Mécanisation

Le faible nombre d'interventions nécessaires en cours de culture ajouté au semis et à la récolte (soit en moyenne 6 interventions sur le cycle) conduit à une charge de mécanisation relativement faible comparée à celle du blé ou du colza. Les problèmes de récolte rencontrés au début de la culture du pois ont été en partie résolus par l'utilisation de variétés *afila* et non plus feuillues, permettant de limiter les problèmes de verse. Les varié-

tés les plus récentes présentent une nette amélioration de la résistance à la verse, contribuant à faciliter la récolte, en particulier dans les parcelles caillouteuses ; cependant, pour ces nouvelles variétés, leur structure de végétation peut ralentir la réalisation de la récolte en conditions sèches. Ainsi, les difficultés de récolte du pois restent encore parfois un handicap de la culture.

Autres postes

Le pois est peu exigeant en phosphore, potassium et autres éléments minéraux. Dans les zones de grande culture où la fertilité des sols a été régulièrement entretenue, les apports se limitent à l'entretien de la fertilité minérale du sol, c'est-à-dire à la compensation des exportations (recommandations ITCF).

Par ailleurs, il est rarement nécessaire de sécher le pois à la récolte : une simple ventilation à l'air froid suffit.

Bilan d'énergie et rejets de gaz à effet de serre

L'absence de fertilisation azotée, les charges limitées en produits phytosanitaires et en mécanisation ainsi que l'absence de séchage artificiel expliquent le faible niveau de la quantité d'énergie fossile consommée par rapport aux autres cultures. En particulier, la fabrication d'engrais azotée est très consommatrice d'énergie fossile : le poste azote représente plus de la moitié des consommations d'énergie fossile d'une culture de blé recevant 180 kg/ha d'azote. Ainsi, l'efficacité énergétique « énergie produite/énergie consommée » d'un pois est meilleure que celle des céréales, malgré un produit énergétique à l'hectare moindre (tableau 2) [6].

Compte tenu des effets induits sur la culture suivante (économie d'azote et de travail du sol), l'économie d'énergie fossile permise par une succession pois-blé comparée à une succession blé-blé est de 13,8 GJ par hectare soit 0,33 tep (tonne équivalent pétrole) dans l'exemple illustré par le tableau 2. À l'échelle de la France, l'introduction de 25 % de protéagineux dans les rotations de grandes cultures se traduirait par une économie d'énergie fossile d'environ 1 Mtep, à comparer à une consommation totale d'énergie fossile actuellement égale à 134 Mtep (pétrole + gaz naturel + charbon), soit environ 0,7 %. Cette faible consommation d'énergie fossile liée à l'autonomie pour l'azote contribue à réduire l'impact des activités agricoles sur les rejets de CO₂ d'origine fossile. De plus, l'absence d'apport de

fertilisants azotés réduit les rejets d'autres gaz à effet de serre, principalement de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) au moment de la fabrication ou de l'épandage de l'azote [9]. Les émissions de protoxyde d'azote sont très faibles en proportion de l'azote apporté, mais cette molécule a un très fort coefficient de gaz à effet de serre : près de 2 % des engrais azotés peuvent être volatilisés sous forme de N₂O, mais cela représente près de 30 % de l'impact total d'une culture de blé sur l'émission de gaz à effet de serre [10]. Sous l'hypothèse selon laquelle une culture de légumineuse n'entraîne pas d'émission de N₂O du fait de l'absence d'engrais azoté, la culture de pois permettrait une réduction importante des rejets de gaz à effet de serre, de l'ordre de 70 % par rapport à des cultures recevant 150 à 200 kg. ha⁻¹ de N. Toutefois, les données relatives aux émissions de N₂O au champ, tant au moment de l'apport d'engrais qu'en cours de culture ou durant l'interculture, sont extrêmement variables et difficiles à mesurer. Des travaux spécifiques sur les émissions gazeuses au champ sont donc encore nécessaires pour quantifier cet impact.

L'aptitude à fixer l'azote atmosphérique, caractéristique commune à l'ensemble des cultures de la famille des légumineuses, est un atout environnemental important dans le contexte actuel de préoccupation vis-à-vis du réchauffement climatique. Malgré l'imprécision des données relatives aux émissions gazeuses, il est probable qu'une proportion de 25 % de légumineuses dans les rotations de grandes cultures en Europe contribuerait à une réduction de l'ordre de 1 % des émissions des gaz à effet de serre. Une telle diminution ne serait pas négligeable au regard des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre définis dans le protocole de Kyoto (de 0 à 10 % selon les pays).

Une solution indispensable pour la diversification des successions culturales

Gestion de la flore adventice

Dans les systèmes de production à base de céréales d'hiver, les rotations peu di-

versifiées conduisent à une intensification et à une homogénéisation du désherbage entraînant la sélection d'une flore adventice peu diversifiée et agressive, de plus en plus souvent résistante à certains herbicides. La réduction de la pression herbicide pour des raisons agri-environnementales n'est envisageable qu'à condition de compenser par des adaptations des pratiques ayant des effets préventifs sur les niveaux d'infestation. La principale adaptation réside dans la diversification de la succession culturale qui permet de diversifier, d'une part, les matières actives herbicides et, d'autre part, les dates de semis à l'échelle de la succession afin d'éviter la sélection d'espèces à période de levée marquée.

Des simulations de l'évolution démographique à long terme d'une infestation de vulpin permettent de mettre en évidence cet intérêt de la diversification des cultures sur la gestion des adventices (figure 3) [11] : la diversification des dates de semis par l'introduction du pois de printemps permet de maîtriser l'infestation. Dans une succession colza-blé-orge labourée tous les ans, l'introduction d'un pois permet d'augmenter la fréquence des impasses de désherbage tout en maintenant un

niveau d'infestation stable [11]. Des expérimentations de longue durée confirment l'intérêt de diversifier les successions hivernales de type colza-blé-orge par l'introduction de cultures de printemps pour maîtriser les infestations de graminées, en particulier dans les situations à problèmes de résistance [12].

Dans cet objectif de diversification des cultures, le pois de printemps est, avec l'orge de printemps et la betterave, la seule espèce cultivée sur des surfaces importantes qui, semée tôt au printemps, est susceptible de constituer une pratique non chimique de désherbage des adventices levées pendant l'hiver.

En système céréalier, le pois offre un élargissement de la gamme d'herbicides disponibles pour les céréales d'hiver que l'orge de printemps n'offre pas. Par rapport au colza, qui permet également un contrôle herbicide des graminées, le pois permet de lutter contre les dicotylédones d'automne et contre les crucifères et les géraniens difficiles à maîtriser dans les rotations chargées en colza. La betterave est très peu concurrentielle vis-à-vis des adventices et, sauf en cas de désherbage mécanique, nécessite un niveau de désherbage chimique important.

Maîtrise des maladies des céréales

Les maladies du pied et des racines des céréales sont les plus fortement influencées par les successions culturales car, en l'absence de plantes hôtes, les agents pathogènes responsables de ces maladies se conservent principalement sur les résidus d'anciennes cultures. Pour les agents majeurs du complexe parasitaire de la base des tiges et des racines — *Pseudocercospora herpotrichoides*, agent du piétin-verse, *Rhizoctonia cerealis*, agent du rhizoctone, *Gaeumannomyces graminis*, agent du piétin-échaudage —, les risques des précédents culturaux sont classés en trois groupes selon leur aptitude à augmenter ou non la quantité d'inoculum susceptible d'infecter la culture suivante : hôte, culture amplificatrice, non-hôte [13]. Le pois figure parmi les cultures non-hôtes. Quelle que soit la maladie, les successions ne comprenant aucune culture hôte parmi le précédent et l'antéprécédent présentent toujours le risque le plus faible. Les successions à précédent non-hôte, tel le pois, ont toujours un niveau d'infection faible, permettant ainsi de réduire le recours à des traitements fongicides sur le blé suivant. De la même façon, l'introduction du pois dans les rotations chargées en colza permet de limiter le développement du *Phoma* en allongeant la durée entre deux cultures de colza. De manière générale, les maladies du pois sont assez spécifiques, limitant ainsi la pression de maladie sur les cultures suivantes, sauf pour le *Sclerotinia* dont l'infection est peu spécifique et qui peut être maintenu ou amplifié par le pois.

La diversification des espèces dans le parcellaire permet également de limiter la dissémination de certains insectes et des maladies aériennes, en particulier des céréales.

Organisation du travail

Outre l'intérêt environnemental de la diversification de la succession culturale, l'implantation du pois, plus tardive que celle du colza et des céréales d'hiver mais plus précoce que celle du maïs, du soja et du tournesol, n'interfère pas avec les calendriers de semis des autres cultures, sauf pour l'orge de printemps et la betterave. Le semis du pois est peu concurrent avec les interventions sur blé et contribue donc peu aux pointes de travail du printemps ; il a plutôt tendance à l'étaler.

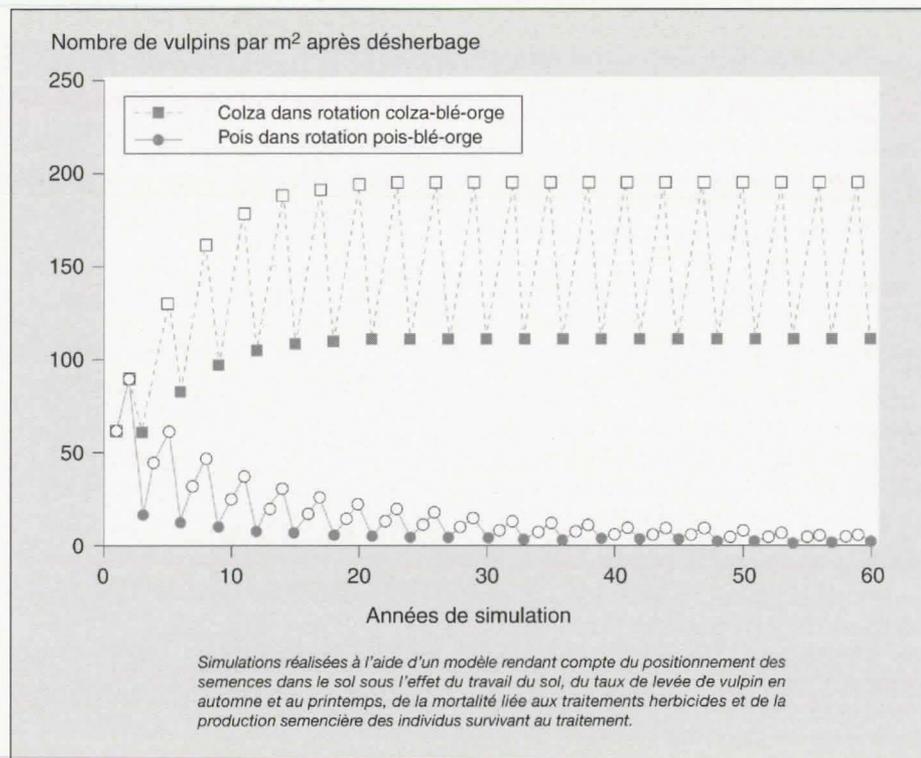


Figure 3. Évolution d'une infestation de vulpin dans deux rotations triennales, pour une situation favorable à l'expression de l'infestation de vulpin due à un travail du sol sans labour [11].

Figure 3. Long term (60 years) simulations of changes in blackgrass infestation for 2 crop rotations with reduced soil tillage [11].

Le cycle du pois permet une récolte en juillet-août libérant le sol tôt, évitant ainsi les difficultés de récolte dues aux mauvaises conditions climatiques automnales (soja, tournesol, maïs) et permettant la mise en place des cultures d'hiver suivantes dans de meilleures conditions.

Les résidus de culture peu abondants et friables du pois autorisent un travail du sol simplifié (sans labour) avant l'implantation de la culture suivante. Dans le cas des semis de blé, l'absence de labour après le pois tend à se généraliser en France (40 % des blés après pois en 2001 ont été implantés sans labour d'après une enquête BVA-Unip). En réduisant la charge de mécanisation, le précédent pois est aussi un atout pour l'organisation du travail.

Des risques maîtrisables de transfert de nitrates vers les nappes phréatiques

Pas de risques liés à l'utilisation d'engrais azotés

Du fait de sa capacité à être autonome pour son alimentation azotée, le pois n'entraîne aucun des risques de pollution accidentelle liés à la fabrication, au stockage, au transport et à l'épandage d'engrais azotés, en particulier les risques d'entraînement par ruissellement et ceux liés au surdosage de la fertilisation en cas de surestimation du potentiel de rendement.

Maîtrise des lixiviations au cours de l'hiver précédant l'implantation du pois

La culture de pois est le plus souvent implantée au printemps. Comme toute culture de printemps, elle laisse le sol nu pendant tout l'hiver précédant l'implantation, augmentant ainsi les risques de lixiviation. Il est donc nécessaire de gérer la fertilisation de la culture précédente de façon à minimiser la quantité d'azote présente dans les sols après la récolte, grâce au développement d'outils de pilotage de

la fertilisation [14], mais, surtout, de gérer l'interculture. En cas de risque élevé de minéralisation de l'azote organique du sol au cours de l'automne, il est possible d'implanter une culture intermédiaire fortement et rapidement consommatrice d'azote comme le radis ou la moutarde [15]. Cette pratique est très efficace si la culture intermédiaire est semée tôt dès la récolte du précédent et si elle est détruite dès l'entrée de l'hiver afin de ne pas perturber l'implantation du pois.

Assimilation des reliquats azotés du sol par le pois

En situation de disponibilité faible en azote dans le sol, la nutrition azotée du pois est essentiellement d'origine symbiotique (figure 4) [16]. Cependant, la voie de la fixation symbiotique de l'azote n'est pas exclusive : en effet, le pois peut combiner fixation et assimilation des nitrates du sol.

En cas d'abondance de nitrates dans le sol, la voie de l'assimilation minérale prédomine sur la voie de la fixation symbiotique (figure 4) [16]. L'aptitude à fixer l'azote atmosphérique n'est donc pas un frein à l'utilisation des nitrates présents dans le sol mais s'ajuste en fonction de la disponibilité en azote dans le sol et des besoins du couvert. Même en fin de cycle, lorsque les nitrates ont été prélevés par les plantes, l'inhibition de la fixation symbiotique est levée. Cependant, dans des situations de sol profond où l'azote minéral aurait été entraîné en profondeur, l'en-

racinement relativement peu profond du pois limite les prélèvements d'azote profond par rapport à d'autres cultures.

Maîtrise des lixiviations de NO_3^- au cours de l'hiver suivant la récolte du pois

À l'échelle du cycle cultural, le bilan en azote du pois est approximativement équilibré et peu différent de celui obtenu pour un blé dont la fertilisation a été optimisée. Le solde entre la quantité d'azote issue de la fixation symbiotique dans toutes les parties de la plante (nodosités et résidus racinaires compris) moins la quantité d'azote exportée par la récolte des graines est relativement stable entre les situations pédo-climatiques et proche de l'équilibre, en général compris entre 10 et 20 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ [4]. Ce solde devient négatif (-20 à -40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) lorsque les pailles de pois sont exportées. Dans la majorité des situations, le fonctionnement favorable du peuplement se traduit en fin de cycle par des remobilisations de l'azote des fanes vers les graines accumulant leurs réserves protéiques. Les situations où la quantité d'azote accumulée est élevée correspondent à des rendements élevés et/ou à des teneurs en protéines des graines élevées, et donc à des exportations d'azote importantes.

Après la culture, les reliquats d'azote minéral dans le sol sont parfois relativement élevés. Ils se situent assez souvent à une vingtaine d'unités de plus qu'après une céréale à paille du fait des moindres pro-

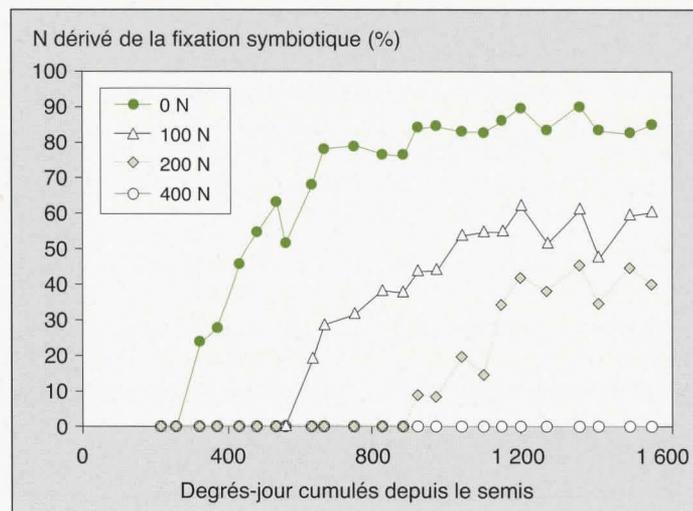


Figure 4. Évolution de la contribution de la fixation symbiotique de l'azote à la nutrition azotée de peuplements de pois ayant reçu différentes doses d'azote minéral au semis (0, 100, 200 et 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) [16].

Figure 4. Contribution of symbiotic fixation to nitrogen nutrition of pea crops receiving various mineral nitrogen supplies (0, 100, 200 et 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) [16].

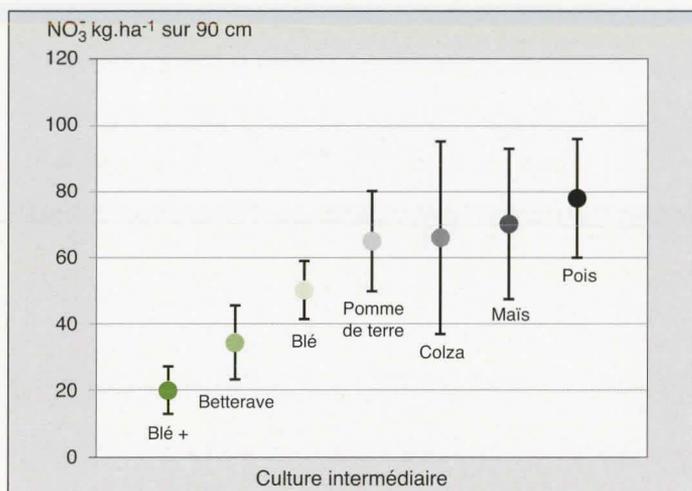


Figure 5. Reliquats de nitrates « entrée hiver » après diverses cultures [17]. Moyennes et écarts types observés sur les réseaux de parcelles du bassin de la Voulzie (Seine et Marne) de 1991 à 1998 (19 à 172 parcelles par précédent).

Figure 5. Nitrate in the soil at the beginning of the winter after different crops (means and standard deviations measured in a field network) [17].

fondeur et densité d'enracinement des variétés de pois actuelles (figure 5) [17]. Par ailleurs, ces quantités importantes d'azote minéral dans les sols après une culture de pois observées à l'automne ne sont pas imputables à une minéralisation rapide des pailles de pois riches en azote. Des travaux montrent que la vitesse de minéralisation de l'azote dans les pailles de pois est peu différente de celle qui est observée dans les pailles de céréales et est proportionnelle à la quantité d'azote présente dans ces pailles, que ce soit pour le pois ou les céréales [18]. En revanche, la capacité des pailles de pois à remobiliser de l'azote minéral est moins forte que celle des pailles de blé qui fournissent une plus grande quantité de carbone pour l'activité microbienne. La présence d'azote après pois est donc due à un prélèvement limité d'azote minéral dans le sol, en particulier dans les horizons inférieurs, et, surtout, à sa maturité précoce qui ne permet pas d'utiliser les quantités parfois importantes libérées par la minéralisation de l'azote organique du sol en fin d'été.

La minéralisation de l'azote organique du sol en fin d'été est très variable en fonction des types de sol et de l'histoire de la parcelle : elle peut être très élevée dans les sols riches en matières organiques (anciennes prairies ou marais) ou dans les sols recevant une fertilisation organique (lisiers, etc.) ou minérale abondante depuis longtemps (souvent caractérisés par un rapport C/N faible). La situation du pois du point de vue des risques de fuites

en nitrates durant l'hiver qui suit la récolte est comparable à celle de la plupart des autres cultures annuelles (colza, pomme de terre, maïs, etc.) (figure 5) [17]. Seules les cultures présentant une croissance active à l'automne, telles la betterave, les « cultures intermédiaires piège à nitrates » et, dans une moindre mesure, les céréales à pailles (dont les résidus de culture permettent la réorganisation d'une petite partie de l'azote minéral du sol à l'automne) se distinguent significativement du pois. Cependant, le pois, au même titre que le colza entre autres, présente deux avantages intéressants pour réduire les risques de lessivage d'azote en hiver :

- il permet d'implanter précocement un blé d'hiver qui retiendra une partie de l'azote lessivable, environ une trentaine de kg.ha⁻¹ par rapport à un sol nu. Ainsi, dans différents essais de longue durée, les mêmes quantités d'azote ont été lessivées durant l'hiver qui suit un pois qu'entre un blé et une culture de printemps : le supplément de reliquats de nitrates lessivable à l'entrée de l'hiver est compensé par la présence d'une culture d'automne précoce (le pois est suivi dans plus de 95 % des cas par un blé d'hiver) ;
- du fait de sa maturité précoce, il permet d'implanter assez facilement une « culture intermédiaire piège à nitrates » (Cipan) dès après la récolte dans une bonne partie des régions européennes. Celle-ci atteint une croissance suffisante dès septembre-octobre, avant d'être retournée pour permettre l'implantation d'un blé en bonne condition, et permet de

Tableau 3. Reliquats d'azote avant l'implantation d'un blé d'hiver sur une parcelle déchaumée ou ayant porté une culture intermédiaire « piège à nitrates » retournée début ou mi-octobre [17].

Table 3. Soil nitrate at the winter wheat sowing date, after summer shallow soil tillage or after a short duration catch crop ploughed in October [17].

	Reliquats NO ₃ ⁻ sur 0-90 cm (kg.ha ⁻¹)	
	Déchaumé	Culture intermédiaire
Moyenne	64	13,0
Écart type	12	2,4

limiter très largement les risques de fuites en nitrates (tableau 3) [17].

Couplé aux méthodes de gestion de l'azote (bilans, dosage des reliquats), le recours aux Cipan en fin d'été et début d'automne est reconnu comme la technique la plus efficace pour réduire les fuites en nitrates dans les situations à risque. Sa mise en œuvre avant ou après pois est relativement facile, à condition de retourner les Cipan assez tôt, dès qu'elles atteignent 2 à 3 tonnes de matière sèche par hectare. Cette technique est toutefois encore peu répandue mais son développement pourrait être encouragé, d'une part, par diverses mesures agri-environnementales incitatives et, d'autre part) par le fait que certaines cultures intermédiaires (moutarde en particulier) semblent réduire la pression d'inoculum de certaines maladies racinaires sur pois [8].

Dans la mesure où la minéralisation des pailles et des racines de pois n'est que très partielle à l'automne et se déroule en grande partie au printemps, cette culture constitue un précédent à blé intéressant car la prise en compte des quantités d'azote libérées par minéralisation des résidus au printemps suivant dans le calcul de la fertilisation permet de diminuer d'une trentaine d'unités l'apport d'azote minéral sur la culture suivante.

Le problème de la maîtrise des lixiviations après pois reste l'un des principaux handicaps communs à la plupart des cultures annuelles. Il peut être résolu en partie grâce d'abord, à une meilleure gestion de la fertilisation azotée sur les cultures précédant et suivant le pois, ensuite à la mise en place de nouvelles pratiques (cultures

intermédiaires pièges à nitrates) et, enfin, à l'amélioration de l'exploration racinaire chez le pois soit par voie génétique, soit par amélioration de l'état structural du sol d'implantation (faciliter l'exploration racinaire) et de la complémentarité assimilation/fixation.

Quel progrès génétique ?

Structure des plantes

Depuis les débuts de la sélection sur pois de printemps, outre les efforts de sélection sur la résistance variétale aux stress biotiques et abiotiques, l'une des avancées majeures associées au gain de productivité a été l'évolution de la structure du couvert d'un type très indéterminé (type fourrager) vers un type plus déterminé. En effet, l'une des difficultés de culture du pois était la structure dense en biomasse et peu dressée qui peut constituer un élément favorable au développement des maladies aériennes (microclimat dans le couvert) et à leur nuisibilité (étages reproducteurs placés en condition de microclimat favorable à la maladie), mais aussi poser de grandes difficultés de récolte. La prise en compte de gènes de nanisme et, surtout, l'introduction du gène *afila* dans les schémas de sélection ont permis en partie de résoudre ces difficultés en réduisant la hauteur de couvert et en assurant par la présence des vrilles une meilleure tenue et une aération du couvert.

Cependant, ce raccourcissement des plantes vers un type plus déterminé a produit des effets indirects qui peuvent être considérés comme dépréciant la culture dans une optique agri-environnementale. En effet, le raccourcissement de la hauteur des plantes est en partie la conséquence de la réduction du nombre d'étages fructifères qui est étroitement corrélé à l'augmentation de la taille des graines, nécessaire à une productivité satisfaisante : cette augmentation du poids de mille graines augmente le coût du poste semences pour l'agriculteur ; par conséquent, pour obtenir un revenu égal avec une augmentation de charges, il doit se fixer un objectif de rendement supérieur qui présente plus de risques et qui, de ce fait, nécessite souvent l'utilisation plus systématique de produits phytosanitaires pour éviter tout accident [19]. Par

ailleurs, l'augmentation de la détermination des plantes diminue leur plasticité en réponse aux aléas climatiques : en effet, les génotypes à grosses graines ayant un nombre d'étages reproducteurs faible réagissent beaucoup plus difficilement par une augmentation du nombre de nœuds reproducteurs en réponse aux avortements qui peuvent être provoqués par des contraintes climatiques ou biotiques. En réponse à ces nouvelles difficultés, la sélection produit actuellement des variétés ayant une tenue de tige plus importante (port dressé) compatible avec un nombre d'étages fructifères un peu plus important et un poids de mille graines un peu plus faible. Ces caractéristiques architecturales, outre leur intérêt pour limiter la nuisibilité des maladies et favoriser la récoltabilité, permettent une compétition plus efficace contre les adventices [20] et de mieux réagir aux contraintes biotiques (par exemple aux attaques d'*Anthracoïse* à *Mycosphaerella pinodes*) et abiotiques qui peuvent survenir pendant la phase de formation du nombre de graines dans des systèmes de culture moins intensifs à plus fortes contraintes environnementales [3].

Cas particulier du pois d'hiver

Le pois de printemps est une culture particulièrement bien adaptée aux régions de la France septentrionale. Le développement actuel du pois d'hiver a permis une extension de l'aire de culture vers le sud de la France et offre des perspectives d'augmentation du potentiel de rendement grâce à l'augmentation de la durée du cycle. Le développement de variétés de pois d'hiver plus résistantes au froid devrait permettre un développement plus important de la culture du pois dans les zones est de la France. Au regard des atouts et contraintes du pois de printemps présentés dans ce document, il n'y a pas de différence majeure à opérer entre pois de printemps et pois d'hiver. Cependant, le pois d'hiver, en augmentant la durée du cycle, permet, d'une part, de limiter les risques de stress hydriques ou thermiques en fin de cycle et, d'autre part, d'assurer une couverture du sol durant l'hiver et une reprise de la végétation plus précoce au printemps, entraînant éventuellement un meilleur prélèvement des nitrates et des réserves d'eau dans les sols profonds. En outre, alors que la récolte des variétés de pois de printemps peut interférer avec celle du colza et du blé d'hiver, les variétés actuelles de pois

d'hiver, plus précoces à maturité, permettent un meilleur étalement des chantiers de récolte.

En revanche, le pois d'hiver présente certains inconvénients par rapport au pois de printemps :

- une pression parasitaire plus importante du fait de la durée plus longue de culture et des conditions environnementales favorables aux parasites plus fréquentes, entraînant parfois une augmentation des traitements antifongiques. Afin de pallier cet inconvénient, des recherches sont en cours sur la résistance aux maladies et la gestion des infestations ;
- un moindre intérêt pour la gestion non chimique des adventices. Le développement de variétés de pois de type hiver conserverait cependant les atouts du pois de printemps pour le contrôle des crucifères et la maîtrise non chimique des adventices estivales. Du fait des dates de semis du pois d'hiver plus tardives que celles du blé, du moins avec les variétés actuelles, l'implantation du pois d'hiver devrait aussi permettre de lutter non chimiquement contre la plupart des adventices à levée automnale.

Ces inconvénients ne sont cependant pas antagonistes des atouts majeurs des cultures de pois.

Conclusion

En raison de son rôle prépondérant et original dans la conduite de systèmes de production respectueux de l'environnement, la culture de pois devrait voir sa place confortée si des politiques de promotion d'une agriculture durable sont mises en place. Dans cette perspective, le pois, tant de printemps que d'hiver, comporte des caractéristiques intrinsèques valorisables :

- des graines de qualité correspondant aux besoins de l'alimentation animale des filières de qualité « labellisée » ;
- des besoins en eau et en énergie non renouvelable faibles par rapport aux autres cultures ;
- une autonomie de sa nutrition azotée et, en conséquence, un impact positif sur la réduction des rejets de gaz à effet de serre et la tendance à l'acidification des sols.

Par ailleurs, l'insertion de cultures protéagineuses dans les systèmes céréaliers, par la diversification des cultures dans les rotations qu'elle entraîne, tend à réduire les mauvaises herbes et les maladies, par-

ticipe à la diversité des paysages et contribue au maintien de la biodiversité de la faune et de la flore. Par conséquent, il apparaît qu'une augmentation de la part des légumineuses dans les rotations devrait avoir différents impacts favorables sur l'environnement, tout en réduisant le coût énergétique total des productions agricoles.

Pour la mise en place d'un nouveau type d'agriculture plus respectueux de l'environnement, la diversification des successions culturales s'avère être une solution indispensable pour envisager une réduction raisonnée de l'usage de pesticides (en particulier d'herbicides) à l'échelle de la rotation, sans compromettre la durabilité des systèmes de culture. Cela implique une bonne maîtrise de la gestion de l'azote dans les successions culturales, tout particulièrement lors des périodes hivernales qui précèdent et qui suivent le pois. Cette maîtrise suppose le recours systématique aux méthodes et outils d'aide à la décision désormais disponibles. Dans ce système, les protéagineux, en particulier le pois, devraient devenir des cultures importantes dans les rotations de grandes cultures ■

Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes qui ont indirectement contribué à la rédaction de cette synthèse, en particulier tous les membres du groupe « Filière protéagineux » de l'Inra.

Références

1. Bastianelli D, Carrouée B, Grosjean F, Peyronnet C, Revol N, Weiss P. Peas. *Utilisation in animal Feeding*. Paris : Unip/ITCF, 1995 ; 99 p.
2. Gatel F, Jondreville C, Buron G, Peyronnet C, Grosjean F. Effet de l'introduction de pois dans les régimes sur les rejets azotés du porc charcutier. *JRP* 1993 ; 301-6.
3. Mangin M, Roullet G, Lecœur J. Choisir ses variétés. Quels pois pour quelles contraintes hydriques ? *Pers Agr* 2000 ; 255 : 65-8.
4. Carrouée B, Jannot B, Justes E, Kouassi AS. Fertilisation azotée de trois légumineuses : le haricot, le pois protéagineux et la luzerne. In : CORPEN, 1999 ; 49 p.
5. Voisin AS, Salon C, Munier-Jolain NG, Ney B. Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Soil* 2002 ; 242 : 251-62.
6. Combes A. Pois protéagineux. Un bilan énergétique favorable. *Persp Agr* 2000 ; 254 : 85-7.
7. Salon C, Munier-Jolain NG, Duc G, et al. Grain legume seed filling in relation to nitrogen acquisition : review and prospects with particular reference to pea. *Agron* 2001 ; 21 : 539-52.
8. Brown PD, Morra MJ. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Adv Agron* 1997 ; 61 : 167-231.
9. Jensen ES, Hauggard-Nielsen H. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment ? *Paper submitted for FAO technical expert meeting 2001*, 13-15 march 2001 (sous presse).
10. Charles R, Gosse G. Environmental impact related to nitrogenous emissions from crops of peas and wheat. *Grain Legumes* 2002 ; 36 : 16-7.
11. Munier-Jolain NM. The long-term impact of grain legumes on the environment : possibilities for reducing herbicides. *Grain Legumes* 2002 ; 36 : 16-7.
12. Chauvel B, Guillemin JP, Colbach N, Gasquez J. Evaluation of cropping systems for management of herbicide resistant population of blackgrass. *Crop Prot* 2000 ; 2001 ; 20 : 127-37.
13. Colbach N, Lucas P, Cavelier N. Influence des successions culturales sur les maladies du pied et des racines du blé d'hiver. *Agronomie* 1994 ; 14 : 525-40.
14. Massé J. Azote : l'avenir est à la fertilisation raisonnée. *Persp Agr* 2000 ; 253 : 33-44.
15. Laurent F. Points de repères en matière d'environnement. *Persp Agr* 1999 ; 244 : 85-7.
16. Voisin AS, Salon C, Munier-Jolain NG, Ney B. Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Soil* 2002 ; 243 : 31-42.
17. Carrouée B, Combes A, Royer L. *Grille de risques et évaluation des pratiques*. Comité scientifique Fertimieux 1999, 24 novembre 1999, 19 p.
18. Corre N, Simon JC, Boucaud J. Enfouissement des légumineuses : quel avenir pour la culture suivante ? *Persp Agr* 1997 ; 230 : 62-9.
19. Viaux P. Jusqu'où peut-on extensifier ? *Persp Agr* 1998 ; 233 : 20-5.
20. Crozat Y, Corre G, Larmure A. Des pois plus rapides que les mauvaises herbes. *Persp Agr* 2000 ; 253 : 92-3.