

Rédaction du guide par Planète Légumes Fleurs & Plantes



GUIDE FERTILISATION

Découvrez dans ce guide des ressources incontournables pour fertiliser à bon escient !

**9 fiches thématiques
& 31 fiches de fertilisation**



Pour l'agriculture de demain

Avec le soutien de :



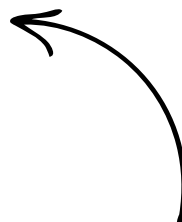
Financé par :



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR



En savoir plus sur
Planète Légumes
Fleurs & Plantes



**Expérimentations
& recherche**



Conseils



**Accompagnement
de projets**



Formations



Sommaire

Fiches thématiques

Bonnes pratiques pour limiter la perte	5
Le reliquat azoté	10
L'utilisation de NitraTest	13
Carence et blocage	16
Le chaulage	20
Engrais vert	24
Les apports de matière organique	26
Les engrais retards et encapsulés	30
La ferti-irrigation	34

Fiches de fertilisation

Ail	38
Asperge	39
Aubergine	41
Betterave potagère	43
Carotte (Panaïs)	45
Choux inflorescence	47
Choux pommés	49
Concombre	51
Courge	53
Courgette	55
Céleri rave	57
Échalote	59
Épinard	61
Fenouil	63
Fraise	65
Haricot	68
Jeunes pousses	70
Légumes secs	72
Melon (Pastèque)	74
Navet	76
Oignon blanc	78
Patate douce	80
Petits fruits	82
Plantes aromatiques	85
Poireau	88
Poivron	90
Pomme de terre	92
Radis bout blanc	94
Rhubarbe	96
Salade	98
Tomate	100

BONNE PRATIQUE POUR LIMITER LA PERTE

CADRE RÉGLEMENTAIRE

CADRE RÉGLEMENTAIRE EUROPÉEN

Cadre pour une politique communautaire sur l'utilisation des nitrates en agriculture.

La directive « Nitrates » fixe des normes et des limites à respecter, telles que :

- 50 mg/l de nitrates dans les eaux destinées à la consommation humaine.
- 170 kg/ha/an d'azote provenant des effluents d'élevage à l'échelle de l'exploitation agricole. Des dérogations sont possibles sous certaines conditions et sous le contrôle de la Commission européenne.



Aucun seuil n'est fixé pour limiter le risque d'eutrophisation.

Elle impose à chaque Etat membre un certain nombre de mesures :

- Désigner les zones vulnérables à la pollution par les nitrates (réexaminer et au besoin réviser au moins tous les 4 ans). Ces zones vulnérables désignées sont notifiées à la commission européenne.
- Établir un programme d'actions avec des règles et des bonnes pratiques agricoles (à appliquer sur les zones vulnérables).
- Elaborer un ou des programmes d'actions en fonction de zones.
- Elaborer un code de bonnes pratiques agricoles
- Surveiller la qualité des eaux et l'efficacité des programmes d'action.
- Former et informer les agriculteurs pour la mise en œuvre des bonnes pratiques.

CADRE RÉGLEMENTAIRE FRANÇAIS

La directive dite "nitrates" est transposée en droit français avec des dispositions en matière de :

- Suivi de la qualité de l'eau
- Délimitation de zones vulnérables aux nitrates
- Établissement d'un code de bonnes pratiques agricoles et de mesures à mettre en œuvre sous forme de programmes d'action dans les zones vulnérables aux nitrates

PROGRAMME D'ACTIONS RÉGIONAL

Application locale du Programme d'actions national adapté à la région.

Avec le référentiel régional issu des GREN (groupe régional d'expertise nitrates) de chaque région.

ZONES VULNÉRABLES

Les mesures applicables en zones vulnérables aux nitrates sont inscrites dans le 7ème programme d'action national.

Les mesures du programme d'actions national sont les suivantes :

- L'interdiction d'épandage de fertilisants organiques et/ou minéraux à certaines périodes de l'année le plus à risque de pertes d'azote par lixiviation ou ruissellement.
- Le respect de conditions de stockage des effluents : durées de stockage, ouvrages de stockage étanches, règles en cas de stockage au champ de certains effluents ...
- Le respect de l'équilibre de la fertilisation azotée.
- L'enregistrement des pratiques prévisionnelles (Plan prévisionnel de fumure) et des pratiques réalisées (cahier d'enregistrement).
- La limitation d'épandage d'azote provenant des effluents d'élevage limitée à 170 kilogrammes d'azote par hectare et par an à l'échelle de l'exploitation.

- L'interdiction d'épandage dans des conditions particulières : sols enneigés, gelés, inondés, le long d'un cours d'eau ...
- L'obligation de couverture des sols pendant la période hivernale qui est la période la plus à risque concernant la lixiviation des nitrates dans l'eau.
- L'obligation de bandes enherbées de 5 mètres le long des cours d'eau.

Ces mesures sont inscrites dans le programme d'action national et peuvent être renforcées (période d'interdiction d'épandage ...) ou déclinées (couverture des sols...) à l'échelle régionale dans les programmes d'actions régionaux.

Des zones d'actions renforcées (ZAR) sont définies localement dans les programmes d'actions régionaux avec des mesures supplémentaires à respecter. Ces zones sont définies car elles sont plus fortement atteintes par la pollution aux nitrates.

La directive nitrates fait partie de la liste des obligations réglementaires applicables au titre de la **conditionnalité des aides de la PAC.**



Optimisation de la fertilisation azotée

Il est possible de réduire l'utilisation des engrais minéraux de synthèse en abaissant à la fois les doses de fertilisants et les émissions par unité d'azote apporté, en agissant sur les leviers suivants :

- Le raisonnement et l'optimisation de la fertilisation : apporter la quantité adéquate d'engrais au moment et à l'endroit opportuns ;
- La formulation de l'azote : choisir une forme d'engrais permettant de limiter les pertes par volatilisation et de mieux valoriser les effluents d'élevage.

D'autres actions complémentaires peuvent également contribuer à réduire les apports d'engrais azotés minéraux, comme l'augmentation des surfaces de légumineuses, la généralisation des cultures intermédiaires limitant les pertes par lixiviation, ou encore la « désintensification » des prairies les plus fertilisées.

MIEUX RAISONNER ET PILOTER LE NIVEAU DES DOSES APPLIQUÉES :

- Calculer une dose prévisionnelle,
- Fixer des objectifs de rendement réalistes,
- Ajuster les doses de fractionnement en cours de campagne.

Il existe plusieurs outils permettant de gérer la fertilisation azotée des cultures. Un diagnostic de la teneur en azote du sol, à travers les reliquats d'azote en entrée et sortie d'hiver puis tout au long du cycle végétal, ainsi qu'un suivi de l'état de nutrition azotée des plantes, combinés à des règles de décision et des techniques spécifiques, permettent d'ajuster les apports en fonction des besoins.

La gestion de la fertilisation azotée débute au début de la campagne par l'estimation de la dose totale prévisionnelle (plan de fumure). Cette approche consiste à déterminer la quantité optimale d'azote à appliquer à une culture en fonction de ses besoins, en tenant compte des apports du sol et des objectifs de production fixés en amont. La dose optimale peut être calculée à l'aide de la méthode COMIFER du bilan de masse prévisionnel. Les besoins des cultures sont bien documentés pour les espèces traditionnelles, tandis que le rendement cible doit être déterminé pour chaque parcelle. Il est essentiel de fixer des objectifs de rendement réalistes pour ajuster de manière optimale les doses d'engrais minéraux et organiques. Pour cela, il est recommandé de calculer la moyenne des rendements des cinq dernières années par parcelle, en excluant les deux valeurs extrêmes. La disponibilité en azote dans le sol dépend des pratiques de gestion au niveau du système de culture et des conditions pédoclimatiques locales. Des référentiels spécifiques à chaque région expliquent comment prendre en compte l'azote du sol. En zone vulnérable, un arrêté préfectoral définit le référentiel pour l'équilibre de la fertilisation azotée, précisant les calculs et fournissant les références nécessaires à la détermination de la dose prévisionnelle d'azote.

Cependant, le calcul de la dose prévisionnelle comporte des incertitudes, notamment en raison des variations des conditions pédoclimatiques d'une année à l'autre.

Ces incertitudes peuvent être partiellement compensées grâce à l'utilisation d'outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée pendant la végétation.

Plusieurs outils basés sur des principes différents (mesure du stock d'azote dans le sol, suivi du végétal, raisonnement dynamique) permettent de remplir différentes fonctions : estimer l'azote absorbé au début du bilan, ajuster la date d'apport, piloter la dose d'apport en cours de végétation et spatialiser la dose en fonction de l'hétérogénéité du terrain.



OPTIMISER L'EFFICACITÉ DE L'AZOTE APPORTÉ :

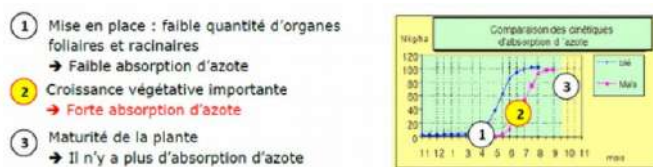
- Supprimer ou retarder si possible le 1er apport d'azote,
- Fractionner les apports d'azote,
- Enfourer l'engrais dans le sol.

L'optimisation de l'efficacité de l'azote apporté peut être réalisée en retardant les dates d'application des engrais au début du printemps pour les cultures d'hiver, tout en prenant mieux en compte les reliquats d'azote minéral en sortie d'hiver. La décision de repousser ce premier apport dépend de la nature du sol, des caractéristiques de la variété cultivée, des conditions climatiques et de la teneur en azote du sol.

Dans certaines situations, il est possible de retarder le premier apport d'azote, car les reliquats d'azote mesurés ou estimés à la fin de l'hiver sont suffisants pour couvrir les besoins de la culture à ce moment-là (ce qui peut s'appliquer aux céréales d'hiver et au colza). Ce retard permet généralement d'améliorer l'efficacité de l'azote appliqué et de réduire la dose totale nécessaire.

La stratégie de fractionnement des apports (généralement en 3 ou 4 applications) consiste à répartir les apports d'azote à la juste dose et au moment optimal, afin d'améliorer la qualité des grains, le rendement, et de réduire les risques d'excès d'azote. Le fractionnement permet d'augmenter l'efficacité de la dose totale en limitant les pertes d'azote par lessivage. Il est également crucial de synchroniser les apports avec les besoins réels des plantes, qui varient au cours du cycle végétatif.

Comme le montre le graphique ci-dessous, l'absorption de l'azote se déroule en trois phases distinctes. Tout apport non valorisé représente une perte économique pour l'agriculteur et un risque pour la qualité de l'air et de l'eau.



Source : Chambre Agriculture Vosges

Le fractionnement aide aussi à éviter la suralimentation en azote de la culture, ce qui peut augmenter sa sensibilité aux maladies du pied ou à la verse, et permet d'améliorer la teneur en protéines du grain.

Enfouir les engrais minéraux ou organiques lors des semis de printemps augmente l'efficacité des apports en limitant notamment les pertes par volatilisation. Par exemple, enfouir l'urée à une profondeur de 10 à 15 cm dans le sol confère une efficacité comparable à celle de l'ammonitrate.

ADAPTER LA FORMULATION DE L'ENGRAIS AZOTÉ :

- Privilégier des engrais avec un faible taux d'azote uréique,
- Substituer de l'azote minéral de synthèse par de l'azote organique.

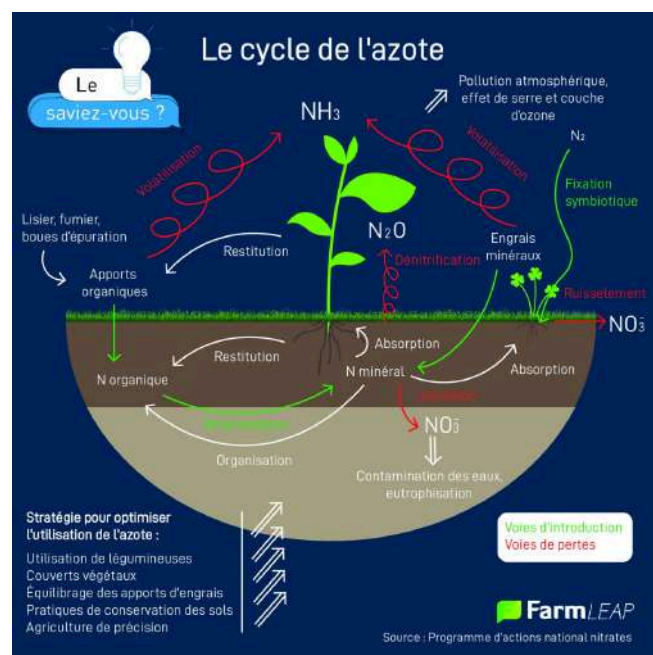
L'intensité de la volatilisation de l'ammoniac dépend principalement de la forme d'engrais azoté appliqué. Ainsi, plus l'engrais est riche en azote uréique (urée) ou ammoniacal, plus la volatilisation est importante. En revanche, l'azote sous forme nitrique des engrais ne se volatilise pas.

Selon le document de référence EMEP/EEA, le facteur d'émission de l'azote apporté sous forme uréique est de 15 %, contre 8 % pour les solutions azotées (composées de 50 % d'azote uréique, 25 % d'azote ammoniacal et 25 % d'azote nitrique), et seulement 2 % pour les ammonitrates (composés de 50 % d'azote ammoniacal et 50 % d'azote nitrique). Ces valeurs augmentent avec la température.

Les émissions liées à l'épandage d'autres engrais minéraux azotés sont généralement faibles, à l'exception du sulfate d'ammoniac et du phosphate diammoniaque, où l'intensité des émissions dépend fortement du pH, avec des émissions particulièrement élevées sur les sols calcaires.

Améliorer l'utilisation de l'azote organique (effluents d'élevage) dans le calcul du bilan d'azote peut permettre de réduire la dépendance aux engrais azotés de synthèse. Selon l'enquête « structure » de 2011 (source : AGRESTE), la dose moyenne d'azote minéral apportée est plus élevée lorsque les cultures ne reçoivent pas d'apports organiques. Lorsque des apports organiques sont effectués en complément des engrais minéraux, les surfaces fertilisées reçoivent en moyenne 46 kg/ha d'azote minéral en moins.

Cependant, pour les cultures fertilisées avec les deux types d'azote, la quantité totale d'azote (organique et minéral) est en moyenne plus élevée que lorsque les apports sont uniquement minéraux. En effet, la minéralisation de l'azote organique étant progressive, seule une fraction de l'azote apporté est immédiatement disponible pour la culture. Les apports organiques doivent donc être planifiés sur plusieurs années, en tenant compte des apports passés et en prévision des besoins de la culture suivante. De plus, une partie de l'azote organique se volatilise lors de l'épandage. Ces pertes par volatilisation d'ammoniac peuvent être réduites par des techniques d'épandage, comme l'utilisation de pendillards ou l'injection et l'enfouissement des effluents.

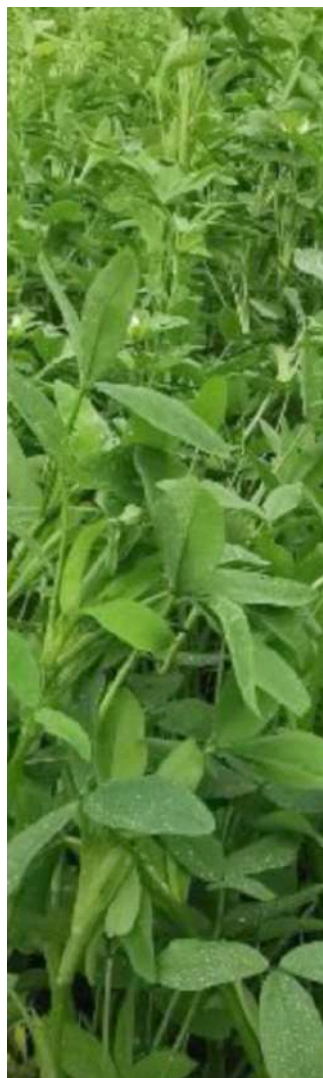


PRÉCONISATION / RECOMMANDATION

- Il est fortement déconseillé d'effectuer des épandages les jours de vent ou de forte chaleur. Prendre en compte les conditions météorologiques constitue une bonne pratique d'épandage. Un calendrier d'épandage bien adapté permet également de limiter le lessivage de l'azote sous forme soluble.
- Les épandages d'engrais azotés doivent être réalisés pendant les périodes de forte croissance des cultures, afin de favoriser une assimilation rapide de l'azote.
- Les apports azotés doivent être ajustés en fonction des caractéristiques spécifiques des terrains (altitude, pente, etc.) et de la rotation des cultures.

Les derniers scénarios climatiques prévoient une augmentation des températures à l'échelle nationale ainsi qu'une intensification des événements climatiques extrêmes (sécheresse, inondations, vagues de froid, etc.). Ces tendances influencent la gestion de la fertilisation azotée de deux manières. D'une part, la hausse des températures favorise la minéralisation de l'azote dans le sol à l'automne, sous réserve de disponibilité en eau à cette période.

D'autre part, un déficit hydrique pendant la montaison peut avoir des impacts variables sur l'efficacité des apports : l'efficacité peut être améliorée si la sécheresse retarde l'apport jusqu'à l'arrivée des pluies, mais elle peut être réduite si l'apport est effectué en période de sécheresse. Dans ce contexte, l'utilisation d'outils de gestion de la fertilisation intégrant des prévisions météorologiques s'avère être une stratégie efficace pour adapter les pratiques agricoles.



OPTIMISER LA FERTILISATION AZOTÉE CONSISTE À TROUVER LE BON ÉQUILIBRE ENTRE BESOINS DE LA PLANTE, RELIQUATS DU SOL ET APPORTS EXOGENES. L'ENJEU EST DE TAILLE TANT POUR LA RENTABILITÉ DE L'EXPLOITATION QUE POUR LE BILAN ENVIRONNEMENTAL À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE.



Un des problèmes majeurs de la fertilisation minérale est le fait d'apporter de l'azote dans des conditions inadaptées (quantité mal évaluée, météo, période du cycle cultural, sol) qui induisent une quantité d'azote non mobilisée par les plantes. En moyenne, moins de la moitié de l'azote apporté par un fertilisant est absorbé par la culture fertilisée.

Rédaction par :



**MARIE
NUSSBAUMER**

CONSEILLÈRE MARAÎCHAGE, TECHNIQUES
ALTERNATIVES ET BIOLOGIQUES

m.nussbaumer@planete-lfp.fr
06 99 12 28 64



**DAMIEN
DELATOUR**

CONSEILLER EN CULTURES LÉGUMIÈRES

d.delatour@planete-lfp.fr
06 68 27 86 56

LE RELIQUAT AZOTÉ

RELIQUAT AZOTÉ : OBJECTIFS , RÉGLEMENTATION ET ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION

LE RELIQUAT AZOTÉ EST À L'AGRICULTEUR CE QUE LE COMPAS ET LA LONGUE-VUE SONT AUX NAVIGATEURS.

Le reliquat azoté est la quantité d'azote présente dans un sol à un moment donné, généralement après récolte, d'où le terme de reliquat. Il est souvent question de Reliquat de Sortie-Hiver, ou RSH, qui est généralement une obligation réglementaire, notamment dans les zones vulnérables aux nitrates.

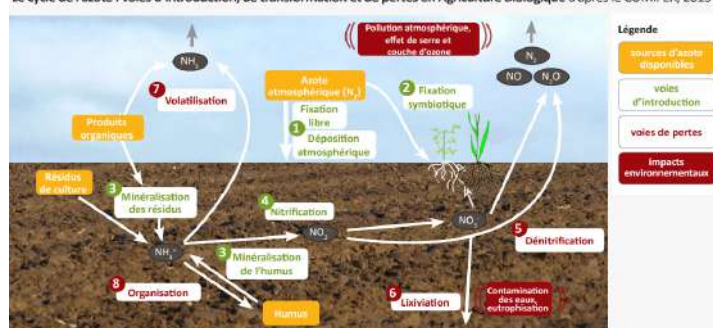
Son intérêt est d'apporter une visibilité et une aide au producteur pour élaborer son plan de fertilisation.



Pour mieux le comprendre, il faut décrypter le cycle de l'azote dans un milieu agricole.



Le cycle de l'azote : voies d'introduction, de transformation et de pertes en Agriculture Biologique d'après le COMIFER, 2013



© Agro-transfert

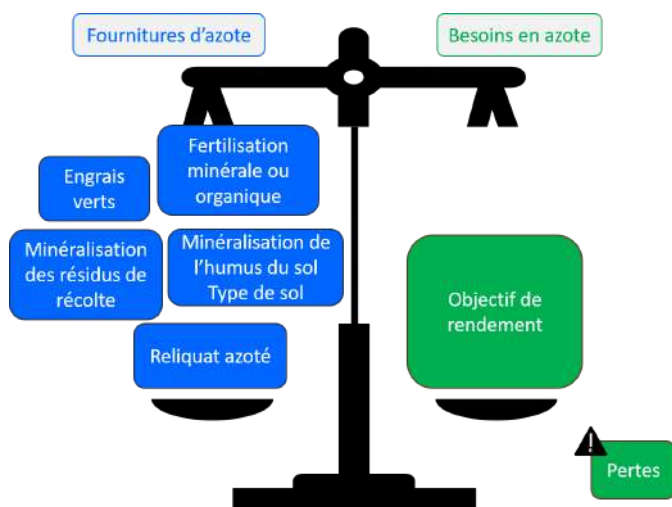
Sans détailler le cycle de l'azote ci-dessus, il est facilement remarqué qu'une parcelle va comporter des entrées d'azote (en vert) et des sorties (en rouge).

Le reliquat azoté vise lui à mesurer la fraction d'azote minéral initiale disponible pour les plantes, c'est à dire la quantité de NH_4^+ et le NO_3^- : de l'azote non assimilable directement est retenue dans l'humus, lessivée ou volatilisée. Ces quantités ne sont pas mesurées, mais doivent être estimées.

Ainsi lorsqu'un reliquat azoté est envoyé au laboratoire, la quantité de reliquat azoté n'est pas mesurée seule, mais l'ensemble des flux, capitaux et réserves en azote sont également estimés (capacité de minéralisation de l'humus, nature des épandages organiques, devenir des résidus etc.). Ces estimations sont nécessaires pour réaliser la méthode du bilan.

La méthode du bilan :

La méthode du bilan est relativement simple : il s'agit d'estimer les fournitures d'azote dans le systèmes (entrées) et les besoins en azote de la culture (sorties), afin d'équilibrer la balance et éviter toutes pertes inutiles.



Par cette méthode, il est possible au producteur de connaître les besoins qui ne seront pas comblés par la voie naturelle et donc ce qu'il reste à apporter par la voie de la fertilisation.

En se basant sur des données les plus précises possibles, on peut alors établir un conseil de fertilisation le plus juste afin de limiter au maximum les pertes.

Rôle environnemental

Le reliquat azoté, s'il permet aux producteurs de connaître au plus juste les quantités d'azote à apporter pour combler les besoins de la culture, permet aussi et surtout de limiter les risques de pollution par les nitrates.

Les nitrates sont de fait responsables de pollutions importantes de la ressource en eau (nappes phréatiques notamment), s'il ne sont pas captés par un végétal. En 2017, plus de 60 % de ces eaux en France dépassent le seuil de la présence naturelle

des nitrates dans les nappes (10 milligrammes/l). Il s'agit en effet d'éléments minéraux très mobiles dans le sol et dans les plantes. Ainsi, si l'azote n'est pas capté par une racine (car absence de végétal, ou besoins déjà comblés), alors il est soumis au phénomène de lessivage provoqué par les pluies. Ce phénomène est d'autant plus important en hiver, où la nutrition des plantes est moindre, et où de nombreux sols restent nus.

A l'échelle de la France, si la situation diffère d'une région à l'autre compte-tenu du contexte agricole et pédologique, les situations s'améliorent au fur et à mesure des années grâce à l'évolution des pratiques, l'utilisation d'outils et au renforcement de la réglementation.

Le reliquat azoté dans la réglementation

La directive Nitrates née en 1991 est le dispositif mère à l'échelle de l'état français qui régie l'utilisation de l'azote en agriculture et vise à réduire ou prévenir la pollution des eaux souterraines. Elle est composée de 3 dispositions majeures :

- la surveillance de la qualité des eaux,
- la désignation des zones vulnérables nitrates,
- l'établissement de plans d'action nationaux et régionaux.

Cette directive a donné naissance à de nombreuses règles, tels que les calendriers d'épandages, l'implantation de CIPAN et bien évidemment l'adoption du reliquat azoté, encore en vigueur aujourd'hui et qui continuent d'évoluer. En septembre 2024 est entré en vigueur le 7ème plan d'action national et le 7ème plan d'action régional pour le Grand-Est.

Le reliquat azoté y tient toujours un poste majeur mais n'est pas nécessairement applicable à toutes les cultures ou dans toutes les situations : il convient de se reporter à la réglementation du département concerné. Ces plans d'actions évoluent grâce notamment à l'engagement et aux travaux menés par les Groupes Régionaux d'Expertise Nitrate (GREN).

Déclinaison du reliquat azoté

On parle généralement de Reliquat de Sortie Hiver (RSH) qui permet de préparer la mise en place d'une culture de printemps à venir ou d'optimiser la fertilisation d'une culture d'hiver (colza, céréales).

Outre la réglementation, il n'existe en réalité pas de limite pour réaliser une analyse : il est tout à fait possible et intéressant pour un producteur de réaliser une analyse de reliquat en cours de culture. Le nouveau plan d'action régional fait à présent entrer le terme de Reliquat Entrée Hiver (REH) pour prévoir (et prévenir) les pertes d'azote en hiver suite à une récolte d'automne.

A noter qu'il existe d'autres moyens de connaître la quantité d'azote disponible ou l'état de nutrition d'une parcelle : les tests nitrachek, les analyses de sève, les imageries aériennes etc.

Afin de garantir la pertinence des résultats, il reste recommandé de passer par un laboratoire agréé pour l'analyse réglementaire (a minima) et de suivre les instructions de prélèvement et de stockage des échantillons de terre que vous pouvez retrouver sur les QRcodes en haut à droite de cette page :

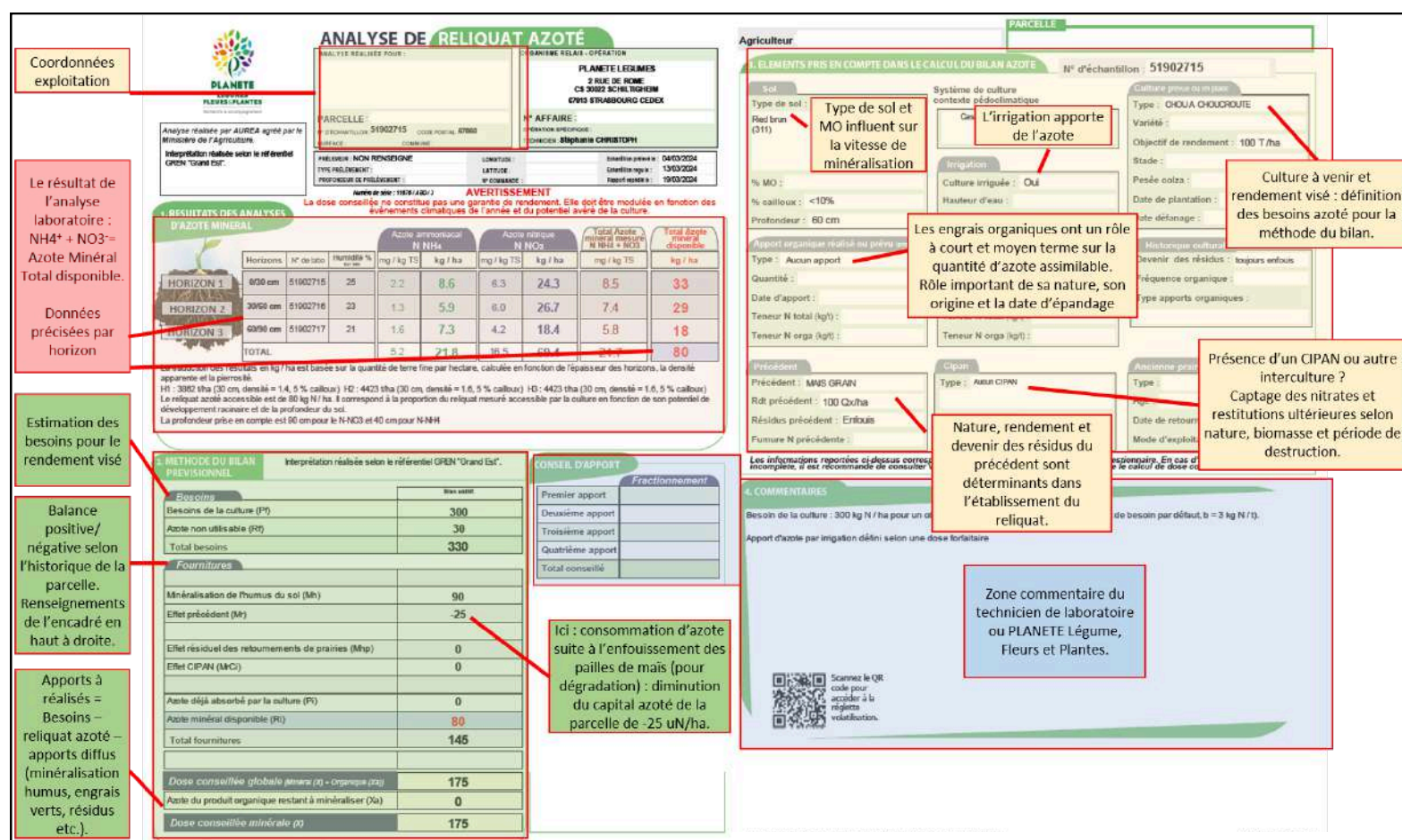
Ci-dessous, un compte-rendu de reliquat azoté réalisé auprès de PLANETE Légumes, Fleurs et Plantes décrypté :



L'interprétation d'un reliquat azoté doit toujours se faire par un technicien qui confirmera les données avec le producteurs et s'assurera de la cohérence du plan de fertilisation établi.

Pour toute demande relative à la réalisation d'analyses de reliquats azotés, vous pouvez contacter votre conseiller de PLANETE Légumes, Fleurs et Plantes.

Interpretation de votre résultat de reliquat azoté.



ROBIN SESMAT

CONSEILLER ASPERGE
CHOU À CHOUCROUTE
ET NAVET SALÉ
r.sesmat@planete-lfp.fr
06 68 63 00 01

L'UTILISATION DU NITRATEST

COMMENT ET POURQUOI RÉALISER UN NITRATEST ?

LE PRINCIPE

La teneur en azote d'un sol sous forme minérale et disponible pour la plante est très évolutif.

L'azote est très lessivable et sa présence dans les sols dépend de nombreux facteurs. Ainsi, selon la température, l'humidité et la richesse de la vie microbienne dans le sol, la minéralisation va se faire plus ou moins lentement ce qui influe directement sur la quantité d'azote disponible pour la culture.

De cette manière, il est **quasiment impossible de prédire comment la quantité d'azote disponible va évoluer au cours du cycle cultural**.

Il n'en reste pas moins que cet azote disponible est une donnée importante pour l'agriculteur. Avant la mise en culture d'une parcelle, il est ainsi recommandé de procéder à des analyses de reliquats azotés par un laboratoire fiable, mais des outils à la disposition du producteur existent pour suivre la fertilisation en cours d'année. C'est le cas du Nitratest.

RÉALISATION D'UN NITRATEST

- 1 **Réaliser un échantillonnage** comme pour n'importe quelle analyse de sol.

Choisissez une zone homogène et représentative de la parcelle, et effectuez entre 12 et 15 prélèvements selon les contours d'un cercle de 20 m de diamètre ou en réalisant une diagonale qui traverse la parcelle.

Collectez la terre :

- A l'aide d'une bêche ou d'une tarière, prélever l'échantillon de sol de la profondeur de l'horizon définie (30-60-90 cm) puis mettre la terre dans un seau propre.
- Effectuez la même action pour chaque prélèvement et pour chaque horizon à prélever (donc 12 à 15 fois).
- Une fois les prélèvements terminés, agitez et homogénéisez l'échantillon autant que possible.

2 L'équipement nécessaire :

1. Gobelet avec un couvercle
2. 100 g de la terre fine prélevée
3. 100 mL d'eau 0 % nitrate (deminéralisée)
4. Filtre en papier
5. Bandelette « Nitratest »
6. Boîtier « Nitratest »



3 Mélanger la terre et l'eau et secouer pendant au moins 4 minutes après avoir refermé le gobelet avec le couvercle.

4 Retirer le couvercle et poser un filtre dans le mélange : il s'agit d'une filtration inverse.

Le filtrat (liquide clair) apparaît au centre du filtre au bout de quelques minutes. Si le sol est limoneux ou argileux la filtration prendra plus de temps. Il est possible d'accélérer le processus en ajoutant du KCl (3 g/1L d'eau).



5 Etalonnage de l'appareil :

Pour s'assurer la justesse de l'appareil, il est possible de réaliser un test avec de l'eau en bouteille dont la teneur en nitrate est connue.

- Prendre le boîtier Nitratest et ouvrir l'ouvrant du côté.
- Placer une bandelette neuve dans l'endroit prévue.
- Refermer l'ouvrant. L'appareil indique « GO » après 2 bips.



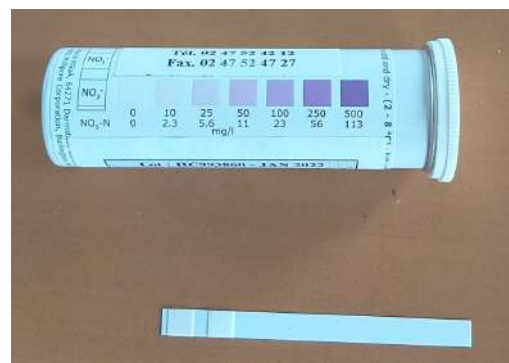
Mesure

- Rouvrir, enlever la bandelette du boîtier et la tremper immédiatement dans la solution filtrée.
- Retirer la bandelette de la solution filtrée après les 3 bips.
- L'appareil commence à décompter 1 minute. Secouer la bandelette pour enlever l'excès de liquide.
- Quand il ne reste qu'environ 10 secondes, remettre la bandelette dans la languette et refermer l'ouvrant doucement.
- Après 3 bips la valeur en Nitrate (ppm) est indiquée.



6 Interpréter le résultat donné sur le boîtier

- Multiplier la valeur par 1,3 pour obtenir la quantité d'azote nitrique en kg NO₃/ha disponible. Si le sol est mouillé le coefficient peut monter jusqu'à 2. Si la quantité d'azote est très faible (voir photo) ou très importante le boîtier indiquera respectivement LO ou HI.
- Même sans boîtier, la couleur de la bandelette donne un bon indice de la quantité d'azote présente.
- Il est conseillé de vérifier la quantité d'azote dans le sol avant l'implantation des cultures et idéalement avant chaque apport de fertilisant.



RÉALISATION D'UN NITRATEST

La méthode du suivi de la sève pétiole est une technique permettant d'évaluer l'état nutritionnel des plantes, notamment en ce qui concerne l'azote et d'autres éléments minéraux. Elle est particulièrement utilisée dans les cultures à forte valeur ajoutée comme les légumes ou les petits fruits, afin d'ajuster au mieux les apports en fertilisants au cours du cycle de croissance.

Principes de la méthode

Le suivi de la sève pétiole consiste à analyser la composition de la sève brute contenue dans la pétiole (partie reliant la feuille à la tige). Cette sève est le reflet direct des éléments nutritifs absorbés par les racines et transportés jusqu'aux organes de la plante. Contrairement aux analyses de sol ou de feuilles sèches, cette méthode offre un diagnostic en temps réel des nutriments effectivement disponibles pour la plante.

Réalisation

• Constitution de l'échantillon

Prélevez 15 jeunes feuilles adultes. Sur chaque plante, choisissez la 1ère feuille de taille adulte en partant de l'apex, c'est-à-dire généralement la 5ème ou 6ème feuille. Le prélèvement doit être effectué avant 10 h du matin afin d'éviter les

variations liées aux conditions climatiques. Si l'analyse ne peut pas être réalisée immédiatement, l'échantillon doit être conservé au frais pour préserver les propriétés de la sève.

• Préparation de l'échantillon pour l'analyse

Une fois les feuilles prélevées, séparez les pétioles des limbes puis fractionnez les pétioles en morceaux d'environ 1 à 2 cm. Utilisez une presse à vis pour extraire le jus et versez-le dans un tube propre et sec. Diluez ensuite le jus au 1/20e avec de l'eau déminéralisée, ce qui correspond à 1 ml de jus pour 19 ml d'eau.

• Dosage des nitrates

Pour le dosage des nitrates, utilisez un Nitrachek®. Réalisez deux mesures à l'aide de bandelettes et comparez les résultats. Si la différence entre les deux mesures dépasse 10 %, effectuez une troisième mesure. La moyenne sera alors calculée entre les deux valeurs dont l'écart est inférieur à 10 %. Multipliez ensuite la valeur lue sur l'appareil par 20 afin d'obtenir la concentration réelle en nitrates.

• Interprétation des résultats

Une fois la concentration en nitrates obtenue, reportez la valeur sur une grille de décision adaptée à la culture et au stade de développement. Cela permettra d'évaluer l'état nutritionnel de la plante et d'ajuster la fertilisation si nécessaire.

Tomate en sol : grille de pilotage PILazo®

NO3 en mg/l																				
>6500																				
5500 à 6000																				
5000 à 5500																				
4500 à 5000																				
4000 à 4500																				
3500 à 4000																				
3000 à 3500																				
2500 à 3000																				
2000 à 2500																				
1500 à 2000																				
1000 à 1500																				
500 à 1000																				
< 500																				
semaines après plantation	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
N° semaine	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Stades repères	F2/F3	F2/F3	N1/N2	N2/N3	N3/N4	N3/N5	R1	R1	R1/R2	R1/R2	R1/R3	R1/R3	R4	R5/R6	R6/R7	R7/R9	R9/R11	R9/R12		
colte brute (kg/m²)									3		7		12			14		17		

Début de récolte : 500 °Jour (base : 10,5°C à partir de la plantation)

Stades repères : Fn = floraison n^{ième} bouquet
Nn = nouaison n^{ième} bouquet
Rn = récolte n^{ième} bouquet

	Azote en excédent
	Suffisant : ne pas fertiliser mais suivre de près
	5 à 10 kg / ha / semaine
	10 à 20 kg / ha / semaine
	20 à 30 kg / ha / semaine



Attention arrêt fertilisation 2 à 3 semaines avant la fin de la culture.



LILIAN BOULLARD

RESPONSABLE DE L'ÉQUIPE MARAÎCHAGE

l.boullard@planete-lfp.fr
06 68 70 00 02



SEBASTIEN FUCHS

CONSEILLER MARAÎCHAGE ET LÉGUMES SECS

s.fuchs@planete-lfp.fr
07 62 49 02 22



CARENCE ET BLOCAGE

CLEF DE DÉTERMINATION

Une carence est une insuffisance d'un élément nécessaire se traduisant par l'apparition de symptômes pathologiques visibles.

Cette définition est assez basique mais appuie sur le fait que l'élément problématique n'est pas obligatoirement manquant dans le sol mais insuffisamment capté par la plante. On distingue ainsi deux grands types de carences :

- **La carence vraie** : Élément absent du sol, en trop faible quantité, ou non retenu (fréquent pour les éléments majeurs, rare pour les oligo-éléments)
- **La carence induite** : Élément présent dans le sol, mais un ou plusieurs facteurs empêchent son absorption

Plus simplement, il y a deux grands cas de figures : s'il s'agit d'une carence vraie, il faut apporter l'élément manquant. Par contre dans le cas d'une carence induite, il faut parfois apporter l'élément difficile à absorber en plus grosse quantité. Mais à moyen terme, la meilleure solution reste de pouvoir travailler sur la cause de la carence induite (Exemple : en diminuant l'apport d'un ion en trop forte proportion qui bloque l'assimilation d'un autre minéral).

Le problème d'une carence est qu'elle ne se manifeste qu'à travers des symptômes, or certains sont très proches. Une carence en bore sur fraise par exemple provoque sur les fruits des symptômes proches d'une mauvaise pollinisation. Pour travailler d'une manière efficace, une méthode simple est de baser son observation sur 3 principaux facteurs :

- Reconnaître le symptôme
- Savoir quelles sont les sensibilités de la culture
- Savoir quelles sont les conditions favorisantes

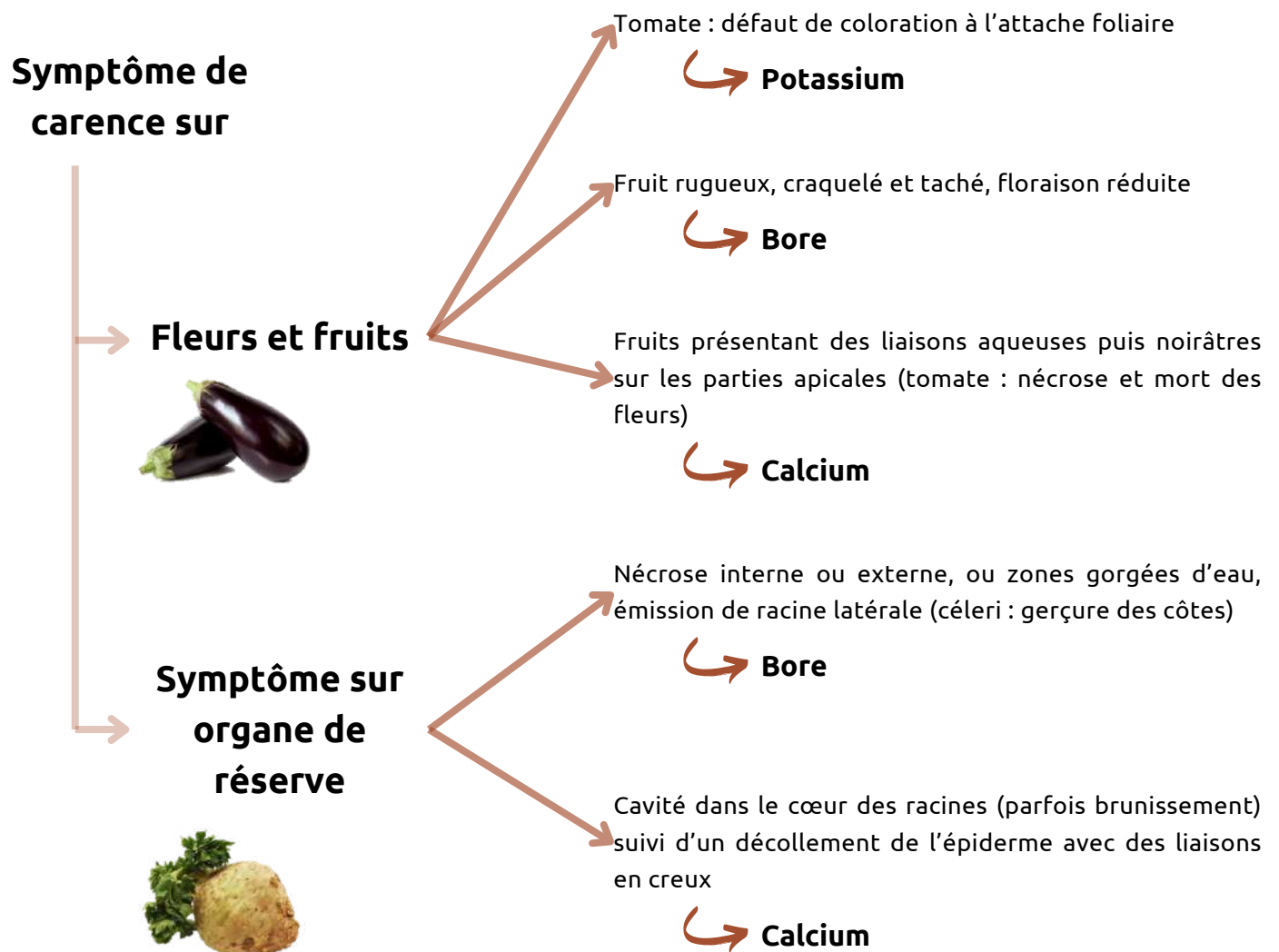
Le niveau de la plante où les symptômes sont visibles

Tous les ions ne se déplacent pas à la même vitesse. Ainsi, lorsqu'un manque survient, la plante utilise les ions mobiles présents dans les vieilles feuilles et les amène vers les jeunes feuilles pour ne pas arrêter son développement. La carence va alors survenir sur les vieilles feuilles où l'élément a été retiré. A l'inverse, si l'élément est peu mobile, la plante sera dans l'incapacité de le prélever dans les vieilles feuilles et le manque va immédiatement se ressentir sur les jeunes feuilles. Le symptôme va être à ce niveau. La tableau sur la page ci-après, présente la répartition des éléments minéraux selon ce phénomène.

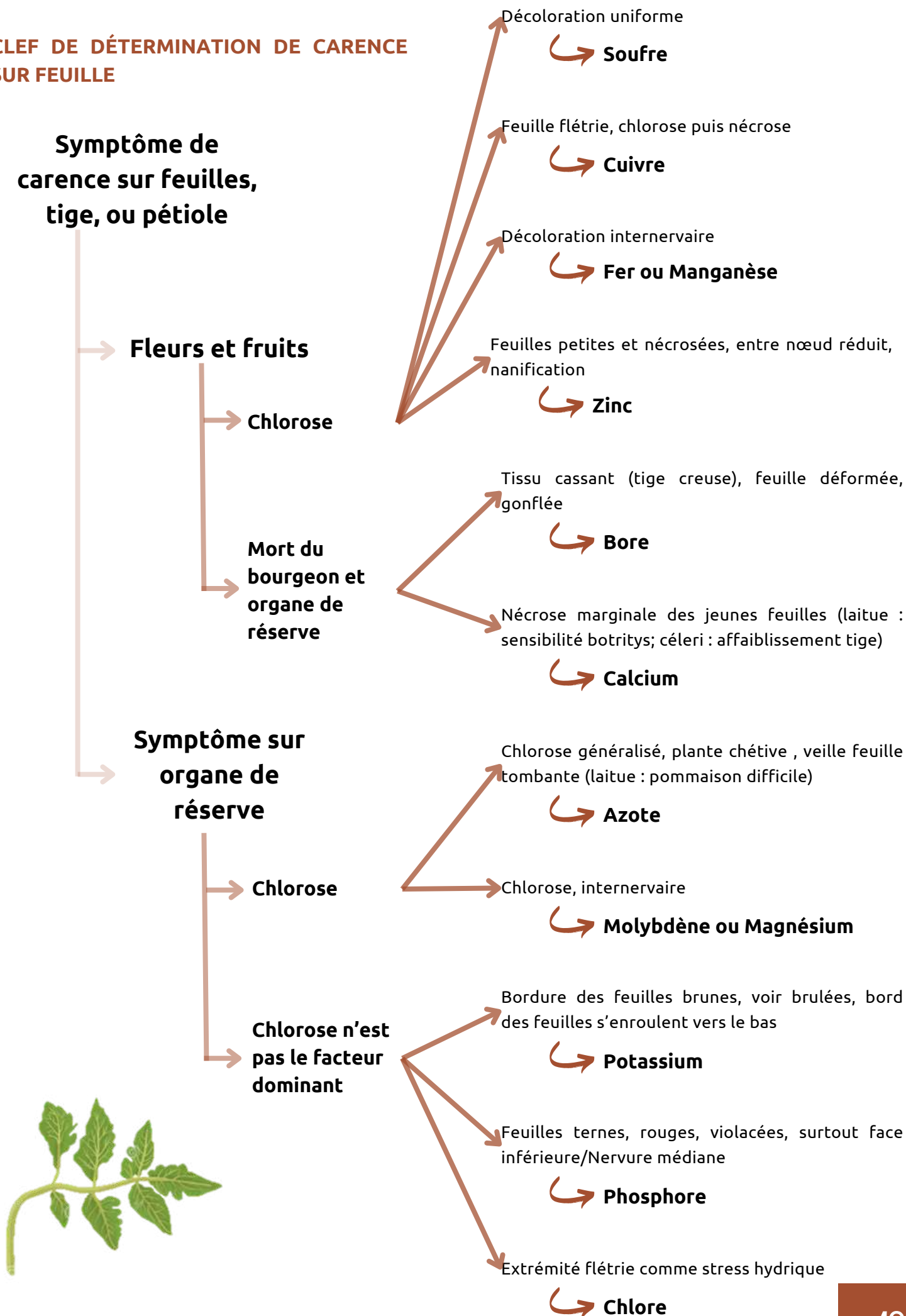
TABEAU DE PRÉSENTATION DE LA MOBILITÉ DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Mobile	Assez mobile	Peu mobile
Apparition des symptômes sur feuilles âgées	Apparition des symptômes sur jeunes feuilles et feuilles âgées	Apparition des symptômes sur jeunes feuilles
N, Cl, K, P, Mg	Mn, Zn, S	B, Cu, Ca, Fe, Mo

CLEF DE DÉTERMINATION DE CARENCE SUR FRUIT ET ORGANE DE RÉSERVE



CLEF DE DÉTERMINATION DE CARENCE SUR FEUILLE



CAUSE DE CARENCE INDUITE

	Car. Vraie	pH	Climat	Excès
N	Oui		Lessivage	
P	Oui	pH>7 ou pH<5,5	T°C basse, humidité forte du sol	No ₃ , So ₄ , Zn ou autre métaux lourds
K	Oui			Azote, Ca ou Mg
Ca	Oui		Lessivage, exportation, manque d'eau	
Mg	Oui	pH<5,5	Asph racinaire, manque d'eau, T° basse	Potassium en hivers
S	Oui		Lessivage, exportation, T° basse	Mauvaise minéralisation
B	Oui	pH>7	Sècheresse, hiver, %MO faible, lessivage	Ca ou K
Cu	Oui	pH>7		Mo, P, Zn ou Mo
Fe	Non	pH>7,5	T° élevé, inc. matière verte, forte humidité du sol	Calc. actif; métaux lourds.
Mn	Non	pH>7,6	Sècheresse, irrigation en excès	Fort apport de MO, excès de Fe
Mo	Non	pH<5,5	Sècheresse, T° basse	Excès de Fe, S, Cu, Mn
Zn	Oui	pH>6,5	Printemps froid et humide	Excès ac. phosphorique, N

PLANTES MAJORITAIREMENT AFFECTÉES

- **N, P, K, Ca** : Toutes
- **Mg** : Chou, maïs doux, cucurbitacée, aubergine, poivron, tomate
- **S** : Crucifère, Légumineuse, ail
- **B** : Betterave rouge, carotte, chou fleur, chou brocoli, céleri, navet, rutabaga, chou pommé, chou de Bruxelles, épinard, laitue, radis, tomate
- **Cu** : Ail, échalotte, épinard, oignon, poids, artichaud (Plantes tests : orge et avoine de P.)
- **Fe** : Fraisier, petits fruits, betterave, céleri, chou, épinard, légumineuse, laitue, cucurbitacée, navet, oignon, persil, tomate
- **Mn** : Betterave, navet, haricot, pois, pomme de terre, chou, céleri, concombre, cornichon, épinard, fraisier, laitue, melon, radis, tomate (plante test : avoine et orge de P.)
- **Mo** : Betterave, chou, concombre, cornichon, épinard, laitue, tomate, ail, oignon, crucifère (plantes tests : chou fleur, melon)
- **Zn** : Fève, haricot, ail, laitue, oignon, pomme de terre, tomate (plantes tests : troëne et maïs)

Rédaction par :



**LILIAN
BOULLARD**

RESPONSABLE DE L'ÉQUIPE
MARÂCHAGE

l.boullard@planete-lfp.fr
06 68 70 00 02



LE CHAULAGE

RAISONNER SES APPORTS D'AMENDEMENTS POUR OPTIMISER LA FERTILITÉ DE VOS SOLS

LE CHAULAGE : QU'EST CE QUE C'EST ?

Le chaulage est une pratique qui s'avère quasi indispensable pour maintenir le potentiel de production des sols non basiques. Cette technique consiste à appliquer des amendements à base de calcaires ou de chaux au sol pour corriger un pH trop acide. En effet, un excès d'acidité réduit la disponibilité des nutriments essentiels au développement des plantes et peut affecter la structure du sol ainsi que son activité biologique. La maîtrise de l'acidité du sol est donc une nécessité pour garantir le bon développement des cultures bien que la sensibilité des plantes et le comportement des sols à l'acidité varient selon les contextes pédo-climatiques.

Il est donc essentiel de comprendre les bases de la fertilité des sols pour savoir quand le chaulage est nécessaire, choisir les produits appropriés, déterminer les quantités requises et identifier la période optimale pour appliquer les amendements.

Cette fiche technique présente les principes fondamentaux du chaulage, tout en fournissant des outils pratiques de calcul et d'aide à la décision.

L'acidification des sols

Le pH d'un sol est le critère auquel on se réfère le plus souvent pour caractériser son acidité. Il est lié à la concentration de protons H^+ dans la solution du sol. Plus celle-ci est élevée, plus le pH est faible. Ce processus naturel d'acidification des sols a des causes multiples :

- **L'activité biologique du sol**, avec la production d'acides par les microorganismes et les racines.
- La **nitrification*** de l'azote ammoniacal provenant des engrais azotés ou de la minéralisation de l'humus.
- Le **lessivage de nitrates** issues de la nitrification de l'azote ammoniacal résiduaire organique qui libère dans le sol des anions organiques.

**La nitrification est un processus biologique où certaines bactéries transforment l'ammonium (NH_4^+) en nitrates (NO_3^-), rendant l'azote disponible pour les plantes.*

L'acidification des sols aura des conséquences directes sur les composantes chimiques, physiques et biologiques de la fertilité de la parcelles et donc sur la culture en place. L'acidification du sol est non seulement liée aux conditions environnementales mais aussi aux pratiques agricoles.

Le processus d'acidification du sol peut être accéléré par :

- l'utilisation d'engrais azotés contenant majoritairement une forme ammoniacale (NH_4^+)
- une conduite de fertilisation azotée conduisant à des bilans d'azote excédentaires
- l'exportation des résidus de culture
- La présence fréquente de légumineuses dans la rotation
- la présence de roches mères de type sables, grès et certains granites

Les effets d'un sol acide sur les cultures

La toxicité aluminique : elle constitue la principale cause de pertes de production des cultures dans les sols acides. Cette toxicité peut se manifester dans tous les types de sol lorsque le **pH eau est égal ou inférieur à 5,5**. Ainsi la première fonction du chaulage est d'élever et de maintenir le pH au dessus de ce seuil afin que la toxicité aluminique ne puisse s'exprimer.

La fertilité chimique : la disponibilité de certains éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes comme le phosphore, le magnésium ou les nitrates sera faible.

La fertilité physique : un pH trop faible peut également avoir des répercussions importantes sur la structure des sols. En effet, la présence plus faible d'ions Ca^{2+} augmente le **risque de battance** et la **compaction** des sols en surface. La stabilité structurale des sols se trouve réduite et la capacité d'infiltration est plus limitée.

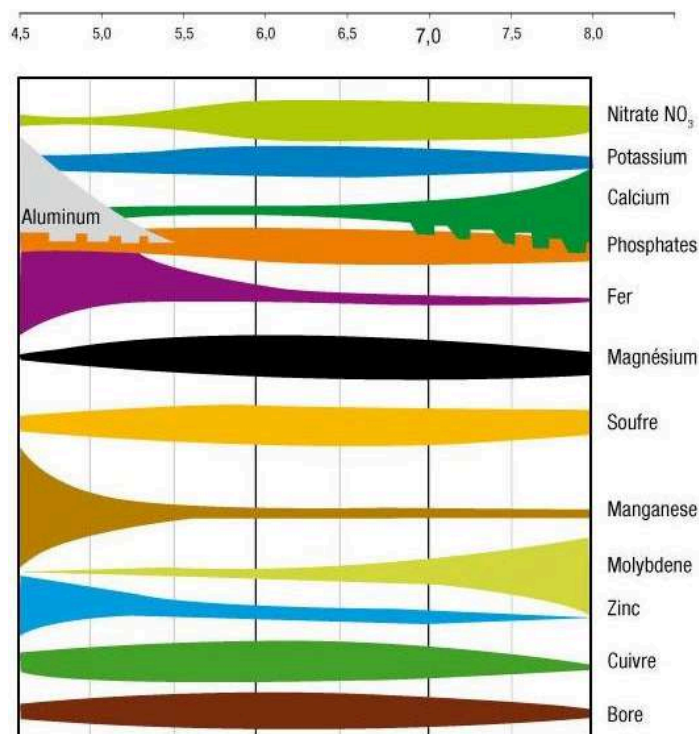


Diagramme d'assimilation des minéraux en fonction du pH

(Truog, 1948) Source : UNIFA

La **mesure du pH eau** est indispensable pour évaluer l'acidité d'un sol. Elle doit être effectuée au moins **tous les 5 ans**, idéalement à la même période, de préférence en automne, lorsque la mesure est la plus stable.

Un pH situé entre 6,2 et 6,5 est optimal pour éviter la toxicité aluminique, stimuler l'activité de la biomasse et optimiser l'absorption des nutriments par la plante.

En sol de **limons sensibles**, un pH situé entre 6,5 et 7 limite la battance et améliore la structure du sol.

Le pH minimum est plus élevé en sol pauvre en matière organique (rôle flocculant du Ca^{2+} en compensation du manque de matière organique)

Attention, **un pH trop élevé (<7)** va entraîner un blocage des oligo-éléments (Manganèse, Fer, Zinc)

La mesure du pH peut être réalisée au ph-mètre ou par analyse de terre en laboratoire. Rapprochez vous de votre conseiller PLANETE LFP pour plus d'informations.

Les amendements basiques

Comment raisonner son apport ?

Le bilan obtenu par l'analyse de terre permet de déterminer s'il convient de mettre en œuvre une stratégie d'entretien ou de redressement. Dans ce dernier cas, une augmentation du pH de 0,5 à 1 unité sera recherchée. Les augmentations trop brutales du pH auront des effets néfastes. Lorsque la décision de chauler est prise, il existe deux méthodes complémentaires permettant de calculer la dose à apporter : **la méthode du pH et celle de la saturation de la CEC (Capacité d'Échange Cationique).**

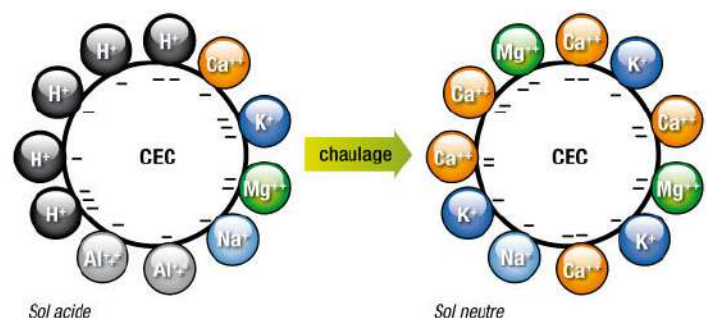
La méthode du pH :

Trois situations sont à distinguer :

- Le pH est suffisant ($>6,8$) : une impasse est possible ;
- Le pH est relativement faible (de 6 à 6,8) : un chaulage d'entretien est à prévoir pour compenser l'évolution du pH (acidification naturelle des sols) ;
- Le pH est trop faible (<6) : il faut réaliser un amendement à haute dose afin d'augmenter significativement le pH du sol.

La méthode de la saturation de la CEC (Metson)

La CEC (Capacité d'Échange Cationique) d'un sol indique sa capacité à retenir et échanger des cations essentiels tels que le Calcium (Ca^{2+}), le Magnésium (Mg^{2+}), le Potassium (K^+) ou le sodium (Na^+). Ces cations sont fixés sur les charges négatives de l'argile et de la matière organique, qui composent le système adsorbant du sol. Un sol riche en ces composants possède donc une CEC plus élevée, ce qui signifie qu'il peut stocker et fournir davantage de nutriments aux plantes. À l'inverse, les sols sableux, moins riches en ces composants, ont une CEC plus faible et retiennent moins de nutriments.



En sol acide, les cations H^+ viennent bloquer les charges négatives du système adsorbant

Source : UNIFA

Cette propriété, stable dans le temps, joue un rôle essentiel dans la fertilité des sols, influençant directement leur capacité à nourrir les cultures et à maintenir un équilibre chimique favorable à leur développement. **Plus la CEC est élevée, plus la quantité d'amendement à apporter sur une stratégie de redressement sera importante.**

Type de sol		Limon sableux				Limon argileux			
		Sables				Argiles			
CEC (meq/100 g)		6	8	10	12	14	16	18	20
Entretien (kg/an)		320	360	400	440	480	520	260	600
Redressement (kg/ha)	de 5 à 5,5	760	880	1000	1120	1240	1360	1480	1600
	de 5,5 à 6	980	1140	1300	1460	1620	1780	1940	2100
	de 6 à 6,5	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600

Besoins en équivalent CaO (kg/ha) selon les sols (CEC) pour modifier le pH

Source : Arvalis, Chambre d'Agriculture de la Nièvre

Quels produits choisir ?

Le choix du produit se fera en fonction de l'objectif visé (chaulage d'entretien ou redressement), de la valeur neutralisante (VN), de la rapidité d'action souhaitée et du coût par unité de valeur neutralisante.

Rapidité d'action

Tous les amendements basiques possèdent une capacité similaire à neutraliser l'acidité, mais leur vitesse d'action varie en fonction de leur composition physique et chimique :

- **Finesse de mouture** : plus un produit est fin, plus sa surface de contact avec le sol est grande, ce qui accélère sa dissolution.
- **Tendreté du carbonate** : un carbonate tendre se dissout plus rapidement qu'un carbonate dur.

Un critère clé : la valeur neutralisante (VN)

Elle mesure la capacité d'un amendement basique à neutraliser l'acidité des sols. Elle est directement liée à la teneur en Calcium (CaO) et en Magnésium (MgO). Ces composés, en réagissant avec les acides présents dans le sol, réduisent son acidité.

Elle n'est pas liée à sa rapidité d'action !

Comment calculer les quantités à apporter ?

La quantité d'amendement dépend de la VN du produit. Elle se calcule tel que :

$$\text{Quantité d'amendement (kg/ha)} = \frac{\text{CaO à apporter (kg/ha)}}{\text{VN}/100}$$

Exemple : Pour apporter **1000 kg de CaO/ha** avec un amendement ayant une **VN de 48 %**, il faut épandre : $1000/0,48 = \underline{\underline{2083 \text{ kg/ha}}}$

On distingue deux catégories de produits :

Produits bruts non transformés (utilisables en agriculture biologique) : ils sont broyés ou concassés, avec une VN de 25 à 50 %. Ces amendements, à action lente, corrigent le pH sur plusieurs années, mais leur efficacité est maximale la première année.

Produits cuits ou transformés (chaux vive, chaux éteinte, chaux magnésienne) : ils présentent une granulométrie fine et une VN élevée (> 50 %). Ces amendements agissent rapidement et sont adaptés aux redressements.

Quand et comment chauler ?

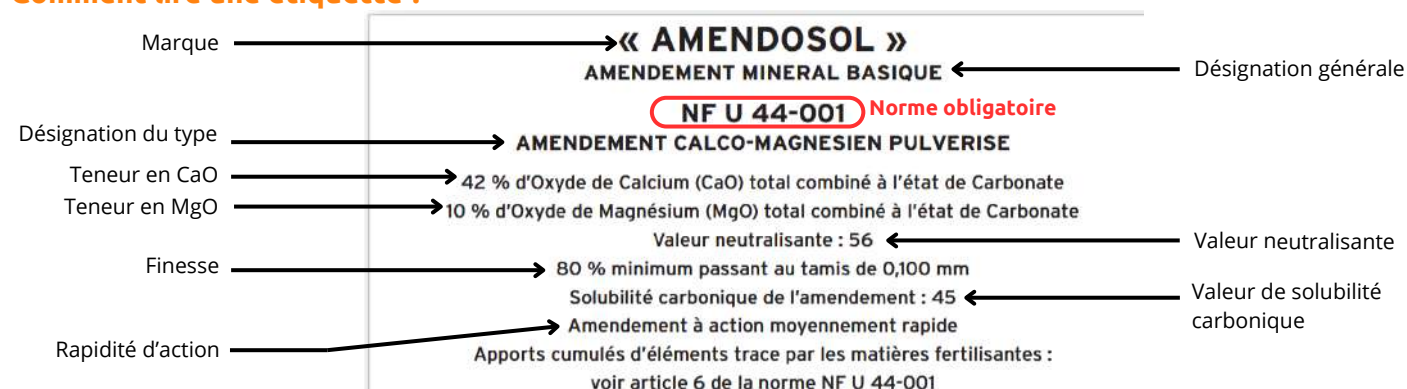
Pour un redressement

Il doit être appliqué avant l'implantation de la prochaine culture, en automne de préférence, lorsque le sol est sec. Il faut bien mélanger l'amendement avec la terre, à l'aide d'outils comme un déchaumeur, pour garantir une correction homogène.

Pour un entretien

Une action rapide n'est pas nécessaire et les conditions d'incorporation sont plus flexibles. Les produits à action rapide ne sont utilisés qu'en cas de redressement.

Comment lire une étiquette ?



Sources : "Le chaulage, fiche de conseil collectif" Chambre d'Agriculture Bourgogne, juillet 2015
"Le chaulage, des bases pour le raisonner" Comifer, édition 2009/2010
"Le chaulage : retour sur les fondamentaux" Chambre d'Agriculture Bretagne, 2014



SEBASTIEN FUCHS

CONSEILLER MARAÎCHAGE ET
LÉGUMES SECS

s.fuchs@planete-lfp.fr
07 62 49 02 22

ENGRAIS VERT

QUELS INTÉRÊTS À UTILISER LES ENGRAIS VERTS ET COMMENT SÉCURISER LEUR RÉUSSITE ?

POURQUOI PRENDRE SOIN DE SON ENGRAIS VERT ?

Un engrais vert, c'est une couverture du sol ayant pour objectif d'en améliorer sa fertilité.

Les sols maraîchers ont tendance à s'appauvrir en raison de l'exportation des résidus de culture. Or, un sol peu fertile est moins résilient face aux aléas climatiques (réserve en eau par exemple). Les engrais verts sont utilisés pour compenser ce manque en plus d'apporter d'autres bénéfices : production de biomasse, protection de la surface du sol, structuration en profondeur, gestion de l'azote et des nutriments, maîtrise des adventices, entretien de la faune du sol, coupe dans la rotation...

Réussir son engrais vert c'est s'assurer que ces bénéfices seront correctement valorisés pour le sol et la culture suivante.



CHOIX DES ESPÈCES ET DU MÉLANGE

Le choix de l'espèce se base sur plusieurs critères :

- **L'effet recherché** : lutte contre les adventices, couverture du sol, structuration du sol, coupe dans la rotation, production de biomasse, maintien de la matière organique, piégeage d'azote, fournitures d'éléments minéraux à la culture suivante, fourrage...
- **La saison** : les espèces n'ont pas la même tolérance aux températures et au gel.
- **La rotation** : disponibilité de la parcelle, familles qui se succèdent (vigilance particulière pour les crucifères).
- **Le matériel disponible** : pour l'implantation, l'irrigation mais surtout pour la destruction
- **Le lieu d'implantation** : plein champ ou sous abri
- **Le type de sol** : compacté, séchant, calcaire...

Graminées	Légumineuses	Crucifères	Autres familles
▪ Développement plus rapide que les légumineuses et les adventices. ▪ Bonne maîtrise des adventices. ▪ Effet de structuration du sol par l'important chevelu racinaire ▪ Faucher avant la lignification en cas de semis précoce (éviter le ralentissement de la minéralisation de l'azote ultérieure).	▪ Fixation de l'azote de l'air ▪ Enracinement bien développé et assez profond ▪ Croissance lente ▪ A combiner avec les graminées pour mieux contrôler les adventices (surtout pour les espèces à petites graines). ▪ Vesce (velue, commune) et trèfle incarnat adaptés aux climats froids ▪ Luzerne, lotier supportent bien la sécheresse	▪ Développement rapide ▪ Mobilisation rapide des réserves minérales du sol ▪ Piège à nitrates ▪ Structuration du sol (système à pivot, radis fourrager en particulier) ▪ Effet désinfectant (composés soufrés) /!\ Nombreux inconvénients en système maraîchers : rotation, sensibilité au gel, montée en graines rapide en été, difficile dans les mélanges car étouffantes	Phacélie : intérêt dans rotation car ne fait partie de la famille d'aucune plante cultivée. Espèce mellifère. Combinaison moyenne avec les céréales. Développement lent. Sensibilité à la chaleur et au froid Sarrasin : croissance rapide. Effet nettoyant face aux adventices. Peu exigeant en minéraux. Espèce mellifère. Sensible au gel.

Privilégier les mélanges afin de cumuler les effets positifs de chaque espèce. Quand ce n'est pas possible, faire une rotation des espèces d'engrais vert. Dans le cas de mélanges, privilégier une composition entre 2 et 5 espèces pour éviter les phénomènes de concurrence et maximiser le bénéfice apporté par chacune d'entre elles.

IMPLANTATION ET ENTRETIEN

Le **choix du matériel** est essentiel. Le principal, est de permettre un semis à la bonne profondeur et le plus homogène possible, en fonction du matériel disponible. La plupart des espèces peuvent être semées avec n'importe quel outil (même un épandeur à engrais), seule la phacélie nécessite une grande précision pour assurer la levée.

Enfouissement des graines impératif, surtout pour la féverole, l'avoine et le sarrasin (nécessité d'obscurité + risques de dégâts par les ravageurs).

Planter l'engrais vert au plus près de la fin de la culture en enfouissant les résidus et déchaumant dès la fin de la culture.

L'**irrigation** du couvert à la levée peut être préconisée dans le cas de conditions défavorables (absence de pluies ou sous abri). Sans irrigation possible, positionner le semis à proximité d'une période de pluie.

Rédaction par :



**MARIE
NUSSBAUMER**

CONSEILLÈRE MARAÎCHAGE, TECHNIQUES
ALTERNATIVES ET BIOLOGIQUES

m.nussbaumer@planete-lfp.fr
06 99 12 28 64

DERNIÈRE ÉTAPE : DESTRUCTION DU COUVERT

La destruction se fait **idéalement avant la formation des graines** (il vaut mieux détruire trop tôt que trop tard), **avant lignification** et minimum 3 semaines avant la culture suivante.

La période de montée à graines diffère selon les espèces. Préférer une période sèche.

L'objectif de l'engrais vert peut également servir d'indicateur. Pour le piégeage des nitrates par exemple, lorsque le couvert devient jaune, c'est le signe d'une carence en azote, donc d'un manque dans le sol.

Le type de sol peut également influencer le choix de la date. Sur sol lourd, détruire précocement pour permettre un ressuyage rapide.

Plusieurs méthodes sont possibles :

- **Roulage ou couchage**, combiné à une occultation si nécessaire.
- **Broyage**. En particulier si la végétation est importante ou lorsqu'il n'y a pas eu de gel. Peut être réalisé avant d'enfouir surtout si le couvert est très développé.
- **Occultation** : prévoir 4 à 8 semaines avant la culture selon la période de l'année.
- **Gel** : pour les couverts gélifs. Peut être complété par un passage mécanique.

Limiter le nombre de passages pour ne pas neutraliser les effets du couvert. Laisser en surface et incorporer légèrement pour favoriser la décomposition.

LES APPORTS DE MATIÈRE ORGANIQUE

RÉGLEMENTATION

LES MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE ORGANIQUE, UNE RESSOURCE POUR TOUS, A UTILISER DANS LE RESPECT DE LA RÉGLEMENTATION ET DES CULTURES.

Les matières fertilisantes d'origine résiduaire regroupent les effluents d'élevage et les boues d'épuration méthanisées ou non, ou d'autres déchets organiques urbains et effluents industriels. Riches en matières organiques et en nutriments (N, P, K), elles sont utilisées pour amender les sols et fertiliser les cultures. En contribuant au maintien des stocks de carbone dans les sols et à la substitution d'engrais de synthèse, leur valorisation agronomique fait partie des leviers de l'agriculture pour la lutte contre le changement climatique et pour la préservation de la qualité des sols. Elle s'inscrit également dans les principes de l'économie circulaire en permettant le recyclage du phosphore.

Néanmoins, la présence de contaminants métalliques, biologiques ou organiques suppose le respect rigoureux des réglementations et des bonnes pratiques. Elles sont en effet essentielles pour limiter les risques sanitaires et environnementaux.



Les matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR)

Utilisables en alternative ou en complément aux engrais chimiques, les matières fertilisantes d'origine résiduaire peuvent avoir différents statuts réglementaires, variant de « produit » à celui de « déchet ».

Considérées comme des intrants à part entière dans le cycle de production, elles agissent sur les différentes composantes physiques, chimiques et biologiques de la fertilité des sols agricoles.

La variabilité des teneurs en éléments nutritifs et de la vitesse de dégradation de la matière organique compliquent les pratiques d'utilisation.

Stockage, analyses, raisonnement de la fertilisation en fonction de la culture et de la nature de l'engrais organique, techniques d'épandage... toutes ces étapes doivent être maîtrisées, et appuyées par une bonne connaissance de la réglementation.

L'objectif est de limiter les pertes d'azote et de phosphore dans l'environnement.

LES MATIÈRES ORGANIQUES FOURNISSENT DES SERVICES AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Les matières organiques sont essentielles au bon fonctionnement des sols agricoles. Elles améliorent leur fertilité, leur stabilité et sont la « plaque tournante » des éléments majeurs : carbone, azote, phosphore et potassium.

Facteur de bonne tenue et de qualité des sols

En s'associant à l'argile, les matières organiques accroissent la stabilité du sol et jouent le rôle d'éponge pour retenir l'eau et de nombreux éléments nutritifs. La porosité du sol est améliorée, l'eau et l'air circulent mieux dans le profil du sol colonisé par les racines.

Néanmoins, les ions nitrate et phosphate, libérés suite au processus de minéralisation peuvent être transférés vers les eaux souterraines par lixiviation, s'ils ne sont pas assimilés par les plantes, car peu retenus par le complexe argilo-humique du sol. Les matières organiques présentes dans le sol jouent aussi le rôle de filtre temporaire en stockant des contaminants.

La reconstitution régulière du stock de matière organique du sol par des végétaux et des MAFOR est essentielle pour préserver les bénéfices environnementaux et agronomiques du sol.

Une valeur nutritive incontestable mais variable

Les trois éléments nutritifs indispensables à la croissance des cultures - l'azote, le phosphore et le potassium - ainsi que les oligo-éléments sont présents à des teneurs variables : entre 2,2 et 35 kg par tonne de produit brut pour l'azote, 1 à 37 kg/t pour le phosphore et 0,8 à 24 kg/t pour le potassium.

Contrairement aux engrais minéraux, leurs teneurs varient selon la nature, l'origine et le traitement éventuel subi. Ils sont pour la plupart organiques et leur dégradation dans le sol dépend de l'activité biologique de celui-ci.

Stimulation de l'activité biologique du sol

Ils nourrissent les organismes vivants, lesquels rendent de nombreux services : vers de terre pour structurer le sol, favorisant ainsi la circulation de l'eau et de l'air, bactéries et champignons pour dégrader la matière organique, nématodes pour réguler la population des micro-organismes...

LES ÉTAPES CLÉS DU CYCLE DE L'AZOTE

Une fois épandu, l'azote subit une cascade de transformations qui le rendent disponible pour la plante.

Ammonification : les matières organiques subissent une dégradation qui conduit à la fabrication d'humus et d'ammoniac. Cette phase est due aux micro-organismes des sols et des eaux, en conditions aérobie et anaérobie.

Nitrification : la nitrification est l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-). Elle s'effectue en conditions aérobies dans un délai pouvant aller de quelques jours à quelques semaines. Le nitrate est la principale forme d'azote assimilée par les plantes.

Dénitrification : La dénitrification permet la réduction du nitrate en diazote (N_2) sous l'action de certaines bactéries en conditions d'anaérobiose. Si elle est partielle, elle aboutit à la formation d'oxydes gazeux (NO) et de protoxyde d'azote (N_2O).

Volatilisation : L'ammoniac (NH_3) est émis par le sol ou la mafor à partir de l'ammonium (NH_4^+), en contact avec l'air. C'est un processus lié aux équilibres physiques et chimiques, sans intermédiaires biologiques. Les techniques d'enfouissement sont donc très efficaces pour réduire la volatilisation.

Lixiviation et drainage : Les nitrates sont très mobiles dans le sol et peuvent être entraînés par les eaux de pluies vers les nappes d'eau souterraines par lixiviation et vers les eaux de surface par drainage.

Pour éviter des pertes trop importantes, l'apport doit être raisonné en fonction de ces processus, du taux de minéralisation et du besoin des plantes.

POMMES DE TERRE, LÉGUMES, ..., QUELLE QUE SOIT LA CULTURE OU LA ROTATION, LES BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE ET D'ÉPANDAGE DES MATIÈRES ORGANIQUES VISENT TOUTES LE MÊME OBJECTIF : VALORISER AU MAXIMUM LEURS PROPRIÉTÉS NUTRITIVES ET AMENDANTES, TOUT EN ÉVITANT LES PERTES D'AZOTE DANS LES EAUX ET LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC DANS L'AIR

BIEN CONNAÎTRE LE PRODUIT POUR CHOISIR LA CULTURE ET LA PÉRIODE D'ÉPANDAGE

Les fumiers de porcs et de bovins ont une valeur fertilisante azotée faible et une valeur amendante plus élevée. Ils peuvent être épandus avant l'implantation de cultures de printemps en tête de rotation (maïs, colza, betterave) ou de cultures d'hiver. En zone vulnérable, les fumiers compacts peuvent être épandus sur sols gelés. Leur faible teneur en azote minéral permet un épandage à l'automne tout en limitant le risque de lixiviation des nitrates.

Les fientes et les lisiers ont une valeur fertilisante azotée importante, proche des engrais minéraux, mais une valeur amendante faible.

L'épandage se fait sur une culture en croissance, en sortie d'hiver ou au printemps. Il n'est pas conseillé à l'automne, et interdit sur les sols inondés, enneigés et gelés en zone vulnérable. Ces effluents peuvent être utilisés en fin d'été sur un colza, à faible dose, ou avant le semis d'une culture intermédiaire dans la limite réglementaire.

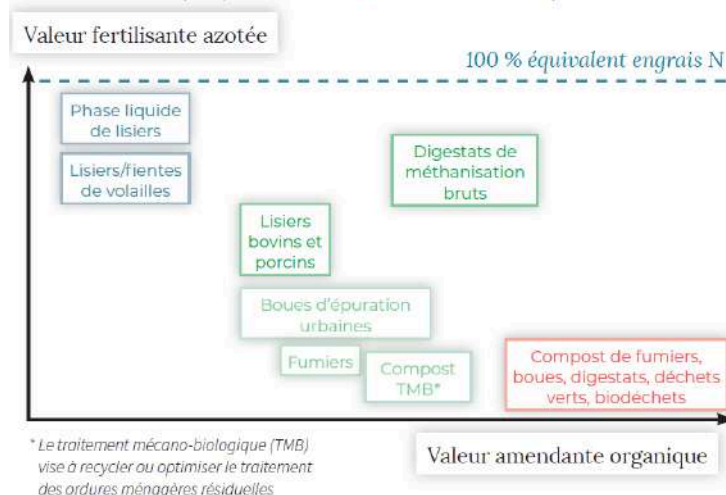
Environ 50 % de l'azote absorbé par la culture sera ensuite disponible pour la suivante, après enfouissement et décomposition.

Les digestats de méthanisation s'apparentent aux lisiers avec une stabilité renforcée de leurs matières organiques. Leur pH, fréquemment plus élevé que celui des lisiers accroît le risque de volatilisation d'ammoniac après épandage : c'est pourquoi il est important d'utiliser des pendillards ou des injecteurs. Comme les lisiers, les digestats sont recommandés au printemps, sur une culture intermédiaire ou sur une culture destinée aux méthaniseurs (culture intermédiaire à valorisation énergétique, cive).

Les composts et biodéchets sont reconnus pour leur valeur amendante. Ils ont une très faible disponibilité immédiate de l'azote et peuvent être épandus à tout moment de l'année.

Les fertilisants à base minérale comme les cendres et les écumes de sucrerie sont riches en phosphore et en potassium. Elles servent à accroître le pH des sols acides. Les boues chaulées possèdent aussi une valeur d'amendement basique.

RELATION ENTRE VALEUR FERTILISANTE AZOTÉE ET VALEUR AMENDANTE DES PRINCIPALES MAFOR (d'après Inra, CNRS, Irstea, 2014)



ORGANISER LES CHANTIERS POUR PRÉSERVER LES SOLS ET ÉVITER LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC

L'état des sols lors des passages d'engins joue sur leur tenue sols. Le matériel doit permettre l'enfouissement rapide des engrais organiques.

Le passage des engins peut tasser le sol. Une intervention sur sol ressuyé évite de les compacter. 40 à 50 % du total des émissions d'ammoniac se produisent le premier jour après l'épandage des effluents. L'organisation des chantiers doit permettre leur incorporation dans les toutes premières heures. Les émissions d'ammoniac d'un fumier enfoui dans l'heure sont réduites de 90 %, et 80 % pour un lisier ! Le recours aux pendillards ou aux sabots déposant le lisier sous la végétation permet de diminuer respectivement de 10 à 55 % et de 40 à 70 % les émissions d'ammoniac. L'injection directe dans le sol réduit la volatilisation de 50 à 90 % (moins performant sur sol sec).



Pour en savoir plus :

www.ademe.fr/mediatheque

www.ademe.fr/entreprisesmonde-agricole

www.agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cgaaer_14074_2015_rapport.pdf

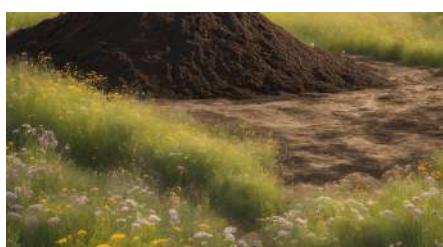
<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Expertise-Mafor-effluents-boues-etdechets-organiques>

Respecter les conditions d'épandage et les équilibres de fertilisation selon la directive Nitrates en cours dans votre région et/ou le règlement sanitaire départemental.



EN RESUME

L'apport de matières organiques dans votre rotation est bénéfique pour la vie du sol et vos cultures, en respectant les principes d'une fertilisation équilibrée et la réglementation pour l'épandage. La diversité des sources de matière organique permet de les valoriser sur de nombreuses cultures. Leur prise en compte permet de réduire les apports d'engrais minéraux et de limiter les impacts sur l'environnement.



Rédaction par :



**DENIS
JUNG**

CONSEILLER POMME DE TERRE
ANIMATEUR DEPHY FERME
RESPONSABLE D'ESSAIS BPE
d.jung@planete-lfp.fr
06 87 35 36 00

LES ENGRAIS RETARDS ET ENCAPSULÉS

FONCTIONNEMENT ET INTÉRÊT POUR LES CULTURES LÉGUMIÈRES



DANS LE DOMAINE DE L'AGRICULTURE MODERNE, L'OPTIMISATION DE LA NUTRITION DES CULTURES CONSTITUE UN ENJEU MAJEUR POUR GARANTIR LES RENDEMENTS TOUT EN PRÉSERVANT L'ENVIRONNEMENT. LES ENGRAIS RETARDS ET ENCAPSULÉS REPRÉSENTENT DES SOLUTIONS INNOVANTES POUR RÉPONDRE À CES DÉFIS.



MODE DE FONCTIONNEMENT

Les engrais retards libèrent progressivement les nutriments dans le sol. Cette libération contrôlée est généralement obtenue grâce à l'utilisation d'additifs chimiques qui régulent la solubilité des éléments nutritifs. Ils permettent, par exemple, de ralentir la transformation de l'azote en formes facilement lessivables, comme le nitrate. La disponibilité des nutriments pour les plantes est ainsi prolongée tout en réduisant les pertes par lessivage ou volatilisation.

Les engrais encapsulés, quant à eux, sont constitués de granules recouverts d'une membrane polymère ou organique. Cette capsule agit comme une barrière physique qui contrôle la diffusion des nutriments dans le sol. La vitesse de libération dépend d'un ou plusieurs facteurs comme l'épaisseur de la capsule, la température du sol ou l'humidité. Ce mécanisme permet une libération prévisible et régulière des nutriments sur une période prolongée.

DIFFÉRENCES CLÉS ENTRE ENGRAIS RETARDS ET ENCAPSULÉS

Type d'engrais	Mode de libération	Durée d'action	Avantages / inconvénients
Retards	Processus chimiques qui ralentissent la transformation ou la dissolution des nutriments.	Plus courte et souvent sensible aux conditions comme le pH du sol.	Généralement moins coûteux à produire que les engrais encapsulés mais souvent sensibles aux conditions environnementales.
Encapsulés	Barrière physique qui contrôle la diffusion des nutriments.	Libération plus longue et stable, étant moins influencée par les variations du milieu.	Plus chers, mais offrent une efficacité accrue et une meilleure prédictibilité des résultats.

INTÉRÊT POUR LES CULTURES LÉGUMIÈRES

Les cultures légumières, telles que les choux, les pommes de terre, les oignons, les carottes ou les laitues, sont particulièrement exigeantes en termes de nutrition. Elles nécessitent un apport équilibré et régulier en nutriments pour éviter les carences ou les excès, qui peuvent nuire à la qualité et au rendement.

Les engrais retards et encapsulés peuvent répondre efficacement à ces exigences. En effet, les engrais retards simplifient la gestion des cultures en diminuant la fréquence des applications. De leur côté, les engrais encapsulés assurent une libération prolongée et adaptée aux besoins des plantes, pouvant favoriser un développement homogène des cultures sans à-coups de végétation. De plus, en limitant les pertes de nutriments, ces engrais contribuent à réduire leur impact environnemental, notamment en préservant la qualité des eaux souterraines par une limitation du lessivage.

Ils représentent ainsi des outils intéressants pour améliorer la gestion de la fertilisation dans les cultures légumières. Tandis que les engrais retards offrent une solution accessible et efficace pour limiter les pertes de nutriments, les engrais encapsulés se distinguent par leur précision et leur adaptabilité aux besoins des plantes. Le choix entre ces deux options dépendra des objectifs de production, des contraintes économiques et des conditions locales. Quoi qu'il en soit, leur utilisation contribue à une agriculture plus durable et performante.



SYNTHÈSE DES EXPÉRIMENTATIONS MENÉES PAR PLANETE LÉGUMES FLEURS ET PLANTES SUR LA FERTILISATION AZOTÉE DU CHOU À CHOUCROUTE

Dans un contexte où la gestion durable de l'azote est cruciale pour réduire les pertes par lixiviation et préserver les ressources en eau, deux essais distincts ont été réalisés par PLFP en 2018 et 2019 pour évaluer l'efficacité des engrais encapsulés (société HAÏFA) dans la culture du chou à choucroute.

Objectifs des essais

- Évaluer l'effet d'engrais encapsulés appliqués en un seul apport avant plantation sur le rendement des choux.
- Déterminer l'impact d'une réduction de 30 % de la dose d'azote recommandée.
- Comparer les reliquats azotés en fin de culture pour les modalités testées.

Méthodologie

Les essais ont été conduits sur deux sites distincts :

- 2018 : sol limoneux, avec des modalités testant MULTIGRO 13-5-25 à 100 % et 70 % de la dose d'azote conseillée, comparées à une référence producteur utilisant un apport d'azote en fractionné.
- 2019 : sol limono-argileux, avec OPTIMEL 10-10-25 à 70 % de la dose d'azote conseillée, comparé à une référence ammonitrate avec apport fractionné.

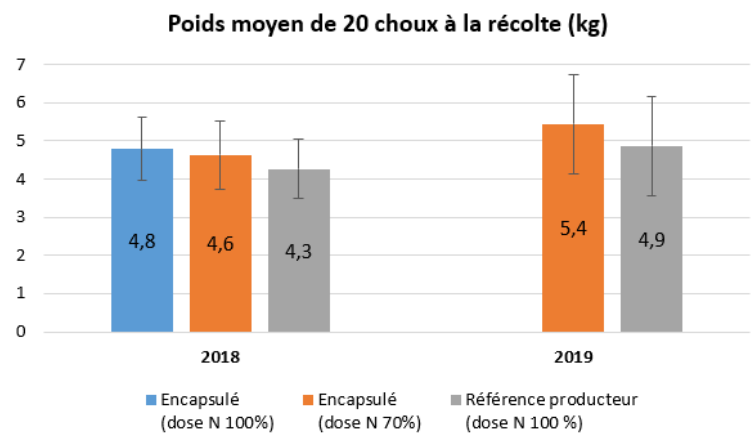
Les quantités de NPK à apporter sont déterminées d'après des analyses de sol et des reliquats sortie hiver (calcul du bilan additif) de sorte que les unités de phosphore, potasse et azote apportées soient identiques entre les modalités, à l'exception des modalités avec une dose d'azote réduite..



Apport avant plantation (à gauche) et au binage (à droite) pour la référence producteur

RÉSULTATS PRINCIPAUX

Rendement à la récolte

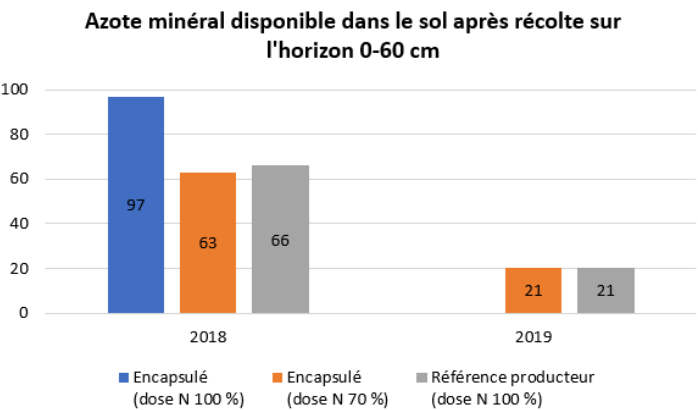


- En 2018, les poids moyens par chou sont légèrement supérieurs avec l'engrais encapsulé, +520 g à la dose N 100 % et +370 g à la dose N 70 %, en comparaison à la référence producteur (dose N 100 %).
- En 2019, le poids moyen des choux est également plus élevé avec l'engrais encapsulé malgré une réduction de la dose d'azote à apporter de 30 % (+570 g) par rapport à la référence (dose N 100 %).

Toutefois, les écarts-types empêchent de conclure à un gain significatif de rendement.

	Modalités	Engrais	Dose t/ha	Epanchages	
				Avant plantation	Au 1 ^{er} binage
2018	Engrais encapsulé, dose N 100 %	MULTIGRO 13-5-25	1,54	x	
	Engrais encapsulé, dose N 70 %	MULTIGRO 13-5-25	1,08	x	
	Référence producteur, Dose N 100 %	ENGRAIS TRIPLE 15-10-28	1	x	
		KCL 60 %	0,2		
2019	Référence producteur, Dose N 100 %	AMMONITRATE 33,5 %	0,15		x
		ENGRAIS TRIPLE 15-10-28	1	x	
		KCL 60 %	0,2		
	Engrais encapsulé, dose N 70 %	OPTIMEL 10-10-25	1,06	x	
	Référence producteur, Dose N 100 %	ENGRAIS 0-18-22	0,5	x	
		AMMONITRATE 33,5 %	0,45		x

Efficiencie de l'azote



- En 2018, les reliquats azotés de fin de culture pour l'engrais encapsulé à la dose N 100 % sont supérieurs de 30 unités environ par rapport à la référence producteur (dose N 100 %) ainsi qu'à la modalité avec la dose d'azote réduite, suggérant une libération progressive non entièrement utilisée par la culture et supposant une perte de l'azote apportée (lessivage, volatilisation) dans la référence producteur.
- En 2019, les 2 reliquats de fin de culture sont similaires malgré une réduction de 45 unités d'azote pour l'engrais encapsulé à la dose N 70 %, indiquant une limitation des pertes et une bonne utilisation de l'azote libéré par l'engrais encapsulé.

Epandage de l'engrais encapsulé avant plantation



100% de la dose d' N conseillée 70% de la dose d'N conseillée

L'UTILISATION DES ENGRAIS ENCAPSULÉS A PERMIS DE RÉDUIRE LA DOSE D'AZOTE TOTALE EPANDUE AINSI QUE LE NOMBRE D'APPORTS (UN SEUL AVANT PLANTATION) ET POTENTIELLEMENT LES PERTES PAR LIXIVIATION, TOUT EN MAINTENANT UN RENDEMENT ÉQUIVALENT, VOIRE LÉGÈREMENT SUPÉRIEUR.

CONCLUSION

Les essais démontrent le potentiel des engrais encapsulés pour optimiser l'utilisation de l'azote dans la culture du chou à choucroute. Une réduction de 30 % de la dose d'azote est possible sans compromettre le rendement. Ces engrais permettent également de limiter les interventions au champ, réduisant ainsi les risques de tassement du sol et les coûts opérationnels. Enfin, ils semblent également permettre de réduire les pertes d'azote par lessivage et de participer ainsi à la protection des ressources en eau.



Rédaction par :



**ANAÏS
CLAUDEL**

CONSEILLÈRE ALLIACÉES
RESPONSABLE D'ESSAIS BPE

a.claudel@planete-lfp.fr
06 64 26 04 93

LA FERTI-IRRIGATION

UNE STRATÉGIE DURABLE POUR OPTIMISER L'EAU ET LA PRODUCTION

LA FERTI-IRRIGATION : QUAND NOURRIR ET ARROSER LES PLANTES RIME AVEC AGRICULTURE DURABLE ET RENTABLE

La ferti-irrigation consiste à injecter les éléments nutritifs avec l'eau d'irrigation pour leur permettre d'être rapidement absorbés par les cultures. Sans eau, pas d'absorption possible par les racines. Le goutte à goutte permet aussi d'ajuster de façon permanente la quantité apportée.

Cette méthode est adaptée pour des cultures à fortes valeur-ajoutée.



Ferti-irrigation de la fraise hors-sol (observatoire-des-aliments.fr)

La ferti-irrigation permet de coupler la fertilisation et l'irrigation en une seule opération. Elle permet d'apporter des nutriments directement à la zone racinaire à dose variable. Cette technique permet d'avoir une utilisation plus efficace de l'eau et des engrais et donc de réduire ses coûts. L'engrais déjà en solution est absorbé rapidement par la plante.

La ferti-irrigation permet par ailleurs d'apporter à la plante la dose de fertilisant correspondant à ses besoins à un stade précis de développement. Cette méthode permet d'éviter les effets indésirables des apports massifs d'engrais comme les excès de croissance végétative ou encore les pertes par lessivage.

Cette technique est accessible à tout producteur dès que l'on dispose d'une installation d'irrigation localisée performante.

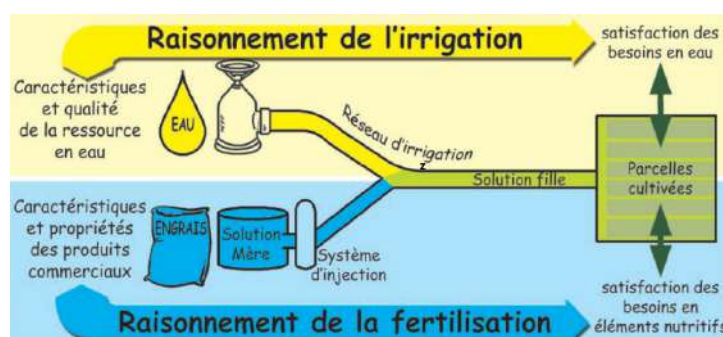
PRÉPARER LA SOLUTION MÈRE

En dehors du système hors sol, il est nécessaire de réaliser une analyse de sol ainsi qu'un reliquat azoté en sortie d'hiver afin de mieux doser sa ferti-irrigation. De même les besoins de la cultures suivante sont à estimer afin d'apporter une dose adéquate. La ferti-irrigation peut être pratiquée :

- Soit pour apporter l'ensemble de la fumure (N, P, K, Mg...) .
- Soit en complément de la fumure de fond au cours de la saison.

La solution mère est la solution du bac où l'engrais est incorporé. La concentration en éléments minéraux y est élevée. La solution fille correspond au mélange entre l'eau puisée pour réaliser l'irrigation et la solution mère. La fertilisation est donc réalisée avec la solution fille.

Le système d'injection permet d'apporter la solution mère à une concentration déterminée pour former la solution fille (de 0.5 à 2%)



Système simplifié du fonctionnement de la ferti-irrigation (Ardepi)

LE CHOIX DE L'ENGRAIS

La nature de l'eau peut être problématique en présence de calcaire, le phosphate précipite. Il est alors nécessaire d'acidifier l'eau avant dissolution ou de choisir un engrais acidifiant (phosphate monoammonique).

Attention à la compatibilité des engrais dans la solution mère.

Il y a certains mélanges/associations d'engrais à éviter pour éviter toutes précipitations pouvant obstruer les goutteurs (voir tableau ci-dessous). Au possible, utiliser des engrais complets dont la formulation est déjà prévue pour être mélangé.

Privilégier les engrais les plus solubles pour la préparation de la solution mère.

Il est important de prendre en compte la solubilité des différents engrais utilisés pour la solution. Dans une préparation, incorporer en premier lieu les engrais les moins solubles (engrais potassiques et phosphatés) aux plus solubles (engrais à base de magnésium et nitrate).

Pour procéder il est recommandé de remplir la cuve au 3/4 d'eau, puis, de verser progressivement l'engrais dans l'eau puis de mélanger la solution (à l'aide d'un mélangeur à peinture par exemple). Il suffit de compléter en eau au volume voulu et de finir d'homogénéiser la solution.

	Sulfate d'ammoniaque	Nitrate de chaux	Nitrate de potasse	Sulfate de potasse	Sulfate de magnésie	Phosphate d'ammoniaque
Sulfate d'ammoniaque	-	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Nitrate de chaux	NON	-	OUI	NON	NON	NON
Nitrate de potasse	OUI	OUI	-	OUI	OUI	OUI
Sulfate de potasse	OUI	NON	OUI	-	OUI	OUI
Sulfate de magnésie	OUI	NON	OUI	OUI	-	OUI
Phosphate d'ammoniaque	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	-

Les différents engrais pouvant être mélangés ou non en solution.



Il est important de tenir compte de la température de la cuve de mélange. En effet la solubilité est plus faible à basse température. Il est conseillé de protéger les cuves du froid.

QU'EST CE QUE L'EC (ELECTRO CONDUCTIVITÉ) ?

La conductivité électrique (EC) est une mesure essentielle pour évaluer la concentration en sels nutritifs dans une solution nutritive utilisée en ferti-irrigation. Elle permet de garantir que les plantes reçoivent une quantité optimale de nutriments tout en évitant les déséquilibres qui pourraient nuire à leur développement.

Cette valeur est réalisée grâce à un conductimètre (ou testeur EC ou EC mètre) et s'exprime en microSiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en milliSiemens par centimètre (mS/cm), 1 mS/cm étant équivalent à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Un EC-mètre (HANNA Instruments).

POURQUOI L'EC EST-ELLE IMPORTANTE ?

Équilibre des nutriments

La conductivité électrique (EC) est un indicateur essentiel pour maintenir un équilibre optimal des nutriments dans la solution nutritive. Une EC trop basse révèle une concentration insuffisante en nutriments, ce qui expose les plantes à des carences pouvant ralentir leur croissance et compromettre leur développement.

À l'inverse, une EC trop élevée entraîne une salinité excessive qui peut endommager les racines, perturber leur fonctionnement et limiter leur capacité à absorber l'eau. En maintenant une EC adaptée, on évite ces extrêmes et on soutient une croissance harmonieuse des cultures.

Adaptation aux stades de croissance

Les besoins en nutriments d'une plante évoluent tout au long de son cycle de vie, et l'EC doit être ajustée en conséquence. Par exemple, les jeunes plants, plus sensibles, nécessitent une solution nutritive avec une EC plus faible pour éviter tout risque de stress osmotique. En revanche, les cultures en phase de production, comme la fructification ou la floraison, demandent une concentration plus élevée pour soutenir les processus énergivores. Adapter l'EC aux différentes étapes permet de répondre précisément aux besoins des plantes.

Prévention des déséquilibres

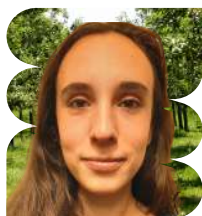
Une gestion rigoureuse de l'EC contribue également à prévenir les déséquilibres nutritionnels. Une EC mal ajustée peut entraîner des blocages racinaires, où certaines substances deviennent inaccessibles, ou des toxicités causées par un excès d'un élément spécifique. En surveillant et en contrôlant l'EC, il est possible de fournir aux plantes les conditions idéales pour une absorption optimale des nutriments, tout en réduisant les risques de problèmes physiologiques liés à des apports inadaptés.

Ces ajustements fins participent directement à la santé des cultures et à l'efficacité de la ferti-irrigation.

ÉCOLOGIE ET DURABILITÉ : DES ATOUTS POUR L'ENVIRONNEMENT

La ferti-irrigation ne se contente pas d'optimiser les rendements, elle contribue également à préserver l'environnement. En apportant des nutriments de manière précise et ciblée, cette méthode permet de réduire considérablement l'utilisation d'engrais chimiques, limitant ainsi les pertes par lessivage qui peuvent polluer les nappes phréatiques. En adaptant les apports aux besoins réels des cultures, on diminue les excédents et leurs impacts négatifs, tout en favorisant une gestion plus durable des ressources en eau et en sols. La ferti-irrigation s'inscrit ainsi pleinement dans une démarche agricole respectueuse de l'écosystème dans lequel elle évolue.

Rédaction par :



CARLA VARAILLAS

CONSEILLERE EN CULTURES
LÉGUMIÈRES

c.varailles@planete-lfp.fr
06 65 73 59 94



MAXIME PAOLUCCI

CONSEILLER EN CULTURES LÉGUMIÈRES
INGÉNIEUR TERRITORIAL ET RÉSEAU DEPHY
FERME

m.paolucci@planete-lfp.fr
06 62 80 46 52



Ail

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Ail blanc/violet d'automne	10 t/ha	150	100	200	30
Ail rose	-	110			

 *mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur d'enracinement : 30 - 50 cm

Des essais ont révélé que des apports raisonnés (entre 90 et 120 unités d'azote/ha sur ail blanc) permettent de garantir le meilleur ratio rendement/qualité (*source CEFEL 2011-2012*).

La réalisation d'un reliquat de sortie hiver (RSH) est recommandée pour ajuster au mieux la fertilisation, la culture étant soumise à une dose plafond, il n'est toutefois pas obligatoire.

● Fractionnement de la fertilisation (ail d'automne) :

Avant la plantation

- La fumure de fond (P,K) est généralement apportée avant plantation. En sol bien pourvu, elle peut toutefois être apportée lors du 1er apport d'azote en sortie hiver.
- Sur culture d'alliacées, limiter le recours au chlorure de potassium (KCl) pour la fertilisation potassique et privilégier la forme sulfate de potasse.
- Pour les engrais phosphatés, favoriser les formes superphosphates ou phosphate protégé dans les sols calcaires (plus de 10 % de CaCO₃) ou à pH élevé > à 7,5.

En sortie hiver

- Le premier apport azoté est à réaliser à partir du stade 3 feuilles (février). En fonction de la teneur en azote du sol, il est généralement compris entre 10 et 30 unités.

Mars et avril

- Pour une optimisation de la nutrition azotée, un fractionnement en 3 apports de la dose totale à apporter est conseillé.
- Le deuxième apport intervient généralement au mois de mars (de 10 à 40 unités) et le dernier apport au mois d'avril (10 à 50 unités).
- Ne pas négliger les engrais soufrés au dernier apport. Le besoin en soufre des alliacées est généralement de 50 à 100 unités durant le cycle cultural.

Outil d'aide à la décision

- Une grille d'aide à la décision pour les apports azotés en cours de culture est disponible depuis 2004 (Grille Zénit®) pour l'ail blanc d'automne. Elle repose sur la mesure du niveau d'azote disponible dans le sol (test nitrate) pour ajuster les apports en cours de culture. Cette grille a été validée uniquement pour la zone de production drômoise, mais elle permet toutefois de fournir des informations d'intérêt.

● Les carences à surveiller sur la culture



© gardenlux-en.decorexpro.com

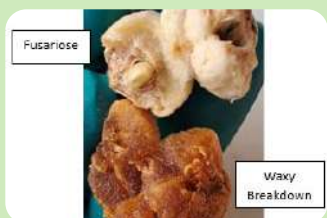
Carence en Azote :

Une carence en azote est similaire à une carence en soufre et se traduit par un jaunissement uniforme des feuilles, un dessèchement du bout des feuilles et un retard de croissance.



Carence en Calcium : Waxy Breakdown

La Waxy Breakdown ou échaudure cireuse de l'ail est une maladie physiologique liée à une carence induite en calcium causée par un désordre climatique (stress hydrique), agronomique (état physique du sol) ou un déséquilibre nutritionnel (excès de potasse) même si le calcium est présent dans le sol.



Il entraîne ainsi un brunissement des caïeux au cours du stockage (aspect translucide et poisseux avec une forte odeur).

A ne pas confondre avec les symptômes de la fusariose de l'ail (maladie fongique tellurique).

● Autres conseils

- Ne pas excéder 50 unités d'azote par apport pour éviter les à-coups de développement.
- En cours de culture et en cas de temps sec, prévoir une incorporation par binage des engrais.
- Un excès d'azote ou des apports trop tardifs peuvent engendrer un excès de végétation (plus sensible aux maladies comme la rouille ou la maladie du café au lait), un risque d'éclatement des caïeux (par la formation de "balayettes") et une perte de qualité en conservation.
- La culture de l'ail est également sensible aux carences d'autres oligo-éléments. Des applications d'engrais foliaires à base de manganèse et de zinc sont à privilégier en début de cycle. Des apports de bore et de calcium sont également à prévoir entre les stades BBCH 16 (6 feuilles) et BBCH 45 (50 % de bulbaison). Enfin l'apport d'engrais foliaire potassique en cours de bulbaison peut aider à améliorer la qualité en stockage.
- Ne pas mettre de fumure organique avant une culture d'alliacées (risque d'attaque de mouche), à réaliser l'année précédente.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Asperges

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Asperge Année 1	-	140	50	175	50
Asperge Année 2 et 3	0,8 à 3 t/ha	100	50	200	80
Asperge Année 4 et +	4 à 6 t/ha	120	30	150	60

A prendre en compte pour aller plus loin :



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

Une analyse de sol complète avant l'implantation de la parcelle est fortement recommandée pour élaborer un plan de fumure adapté à la culture et à la parcelle. Chaque année, la réalisation d'un reliquat azoté est recommandée au début du printemps.

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Le choix de la parcelle et du précédent cultural sont primordiaux en culture d'asperge pour s'assurer une parcelle saine, arable et non limitante en éléments nutritifs, notamment sur les sols sableux.
- Des apports d'engrais verts et de matière organique importants sont ainsi plébiscités avant la plantation de la culture. Ils ont pour objectif d'augmenter (sinon maintenir) le taux de matière organique de la parcelle et apporter l'essentiel des éléments nutritifs dont la culture à besoin pour s'installer les premières années.

Année de la plantation

- L'année de la plantation sert à l'installation de la culture dans la parcelle. Les besoins sont ainsi moins élevés qu'en année de production, mais pas moins importants. Noter l'importance de maintenir la culture dans des situations de confort hydrique et à l'abris de compétition adventice.

Années de production

- Des apports organiques peuvent toujours se réaliser en aspergeraies en année de production : éviter les apports en sortie hiver pour des apports au débutage.
- Les apports de P sont généralement recommandés en sortie hiver avant buttage et incorporés.
- Les apports de N et K sont recommandés après plantation, au moment du débutage. Cela permet d'éviter un risque de lessivage durant la récolte, période où les mobilisations sont très faibles. Les derniers apports d'azote doivent être réalisés avant mi-juillet.
- Les besoins en magnésium peuvent être complétés par des apports de Kieserite avant buttage, sinon apportés par voie foliaire .

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



@ PLANETE LFP

Cas du Magnésium :

Selon les variétés, des jaunissements de pointe de cladodes peuvent apparaître en cours d'été, en plein développement de l'asperge. Il s'agit fréquemment d'une remobilisation du magnésium par la plante. Des apports anti-carenciels foliaires peuvent être réalisés.

Carence en Azote :

Les carences en azote sont difficiles à observer. De manière générale, le feuillage est plus faible et plus clair.



@ PLANETE LFP

Cas du Calcium :

Calcium et stress hydrique sont très liés. Ainsi, il est fréquent d'observer en été des dessèchements de jeunes pousses. Ces avortements peuvent être dus à un stress hydrique ou à un défaut de nutrition en calcium (possiblement en réponse à un stress hydrique également).

● Autres conseils

- Les stress hydriques (excès d'eau ou manque d'eau) sont particulièrement néfastes au développement de la culture (notamment sécheresse et températures trop élevées), pouvant conduire à des observations similaires à des stress nutritionnels.
- Les apports de matière organique mal décomposés ou en conditions humides peuvent favoriser l'apparition de mouche des semis ou de taupin dans les parcelles.
- Favoriser les apports localisés. Les engrais verts peuvent maintenir

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Aubergine

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Sous abri	100 t/ha	757	161	715	86
Plein champ	40 t/ha	490	105	465	56

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 60 à 100 cm
Besoin en azote par t/rdmt : 7,57 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (25 T/ha). Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Afin d'éviter un excès d'azote, enfouir le fumier au moins trois mois avant plantation.

Fertilisation de couverture (au goutte-à-goutte)

- Apports tenant compte d'une dose hebdomadaire à partir du stade 2ème ou 3ème bouquet
- pH de la solution nutritive entre 5 et 6
- formule fertilisante N-P-K (à apporter à partir du 15ème jour après plantation) : **18-6-26** et **15-5-30** ; rapport moyen de 3-1-5 kg/t de fruit récolté

Fertirrigation : points clés à respecter (exemple sur un engrais 15-5-30)

- **Calculer la quantité d'engrais en kg** à apporter en multipliant la dose hebdomadaire par la surface cultivée. Par exemple sur 400 m², une dose de 15 g/m² correspond à 4 kg d'engrais pour la totalité de la surface pour une dose de 15Kg de N .
- **Appliquer l'engrais chaque semaine en ajustant la dose.** Exemple pour 400 m² : en mai, appliquer 15 g/m², passer à 20 g/m² en juin, puis réduire progressivement à 10 g/m² en août.

- **Préparation de la solution nutritive** : Mélanger 25 kg d’engrais dans 200 L d’eau pour obtenir une concentration de 12,5%. Utiliser une pompe doseuse réglée à 1 % pour appliquer la solution diluée sur la culture.
- **Ajuster la quantité de solution à appliquer** : sur 400 m², la quantité varie entre 32 et 64 litres selon les semaines (voir tableau ci-dessous)

Mois	Engrais (en g/m ²)	Engrais pour 400 m ²	Solution à apporter
Mai	15 g/m ²	6 kg	48 L
Juin-Juillet	20 g/m ²	8 kg	64 L
Août	10 g/m ²	4 kg	32 L

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© PLANETE LFP

Excès en Azote :

Un excès d’azote peut entraîner des problèmes tels qu’une nouaison insuffisante, des retards dans l’initiation florale, une sensibilité accrue aux maladies et ravageurs, ainsi qu’un déséquilibre entre la croissance des parties aériennes et racinaires augmentant les risques de déficits hydriques.



© PLANETE LFP

Carence en Magnésium:

L’aubergine est sensible à la carence en cet élément qui se traduit par un jaunissement internervaire des feuilles.

● Autres conseils

- Pour une bonne qualité de conservation, l’arrêt de la fertilisation doit se faire environ **3 semaines** avant la fin de la récolte.
- Pour la fertirrigation, il faut s’assurer que la solution nutritive soit appliquée de manière homogène sur toute la surface pour garantir une nutrition équilibrée des plantes.
- Un complément sous forme de vinasse et/ou de patenkali peut se faire pour un complément azoté et potassique. L’aubergine réagit également bien aux apports soufrés et de magnésie.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Betterave potagère

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Variété globe	45 t/ha	144	37	165	30
Variété longue	40 t/ha	128	33	147	27

 **mobilisations = exportations + restitutions**
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 50 à 80 cm selon le type de sol.

Besoin en azote par t/rdmt : 3 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20-30 T/ha)
- Il est déconseillé d'apporter une fumure organique juste avant l'installation de la culture (préférer un apport avant le précédent cultural)

Au semis ou à la plantation

- Faire un apport correspondant à : 60% du besoin en azote, 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.
- Pour l'azote, préférer un apport sous forme ammoniacal.
- Le Patentkali est adapté pour l'apport de potasse et de magnésium.

Au début de la tubérisation (2,5 mois après semis)

- Faire un apport correspondant à : 40 % du besoin en azote et 50 % du potassium.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© Yara

Carence en Azote :

Une carence d'azote entraîne une inhibition de la croissance du plant, une coloration vert clair puis jaune. au contraire, l'excès d'azote entraîne une végétation excessive et une réduction du taux de sucres solubles.



© Yara

Carence en Bore:

Une carence en Bore se caractérise par un noircissement et la mort du point de croissance. Les feuilles jaunissent ensuite et se craquèlent. Le collet peut être affecté, il noircit et pourrit («maladie du cœur noir»). Les racines ont ensuite un aspect liégeux et se creuse.



© Yara

Carence en Magnésium :

Symptômes de chlorose internervaires de la pointe à l'ensemble de la feuille. Peu à peu des nécroses se développent. Symptôme similaire à une carence en potassium.



© Yara

Carence en Potassium :

Carence fréquente en sol acide. Nécrose internervaire des feuilles. Symptôme similaire à une carence en magnésium.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- Le pH Eau optimal du sol se situe entre 6 et 7,5. Un taux de calcaire soluble en excès entraîne une carence en bore

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Carotte (et panais)

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Carotte précoce	40 t/ha	100	50	180	30
Carotte de garde	60 t/ha	90	60	380	30
Panais	40 t/ha	90	50	180	20

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 60 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Carotte précoce : 2 Kg de N/ha/t
- Carotte de conservation : 1,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (10-15 T/ha).
- Pour les carottes de garde, le sol réalisant de la minéralisation, l'apport total durant le cycle de la culture ne doit généralement pas dépasser plus 60 Kg de N/ha.

Au semis

- Faire un apport correspondant à : 20% du besoin en azote, 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.
- Pour l'azote, préférer un apport sous forme ammoniacal.
- Le Patentkali est adapté pour l'apport de potasse et de magnésium.

Au stade 2 feuilles (BBCH12)

- Faire un apport correspondant à : 40% du besoin en azote.

Au stade crayon (BBCH40)

- Faire un apport correspondant à : 40% du besoin en azote et 50% du potasse.
- Un apport de bore et de soufre peut être réalisé à ce stade.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© SILEBAN

Carence et excès en Azote :

La carence en azote se matérialise par un pâlissement des feuilles, une apparition d'une coloration orangée/brune et une croissance foliaire altérée.

En cas d'excès, sont visibles une fragilité (excès de vigueur foliaire) de la plante face aux maladies fongiques et aux parasites, des retards de maturation, une mauvaise qualité de conservation et une mauvaise coloration de la racine.



© SILEBAN

Carence en Potassium :

Une carence en potassium crée un noircissement du feuillage suivi rapidement par sa brûlure (ressemblant à une carence en phosphore).



© SILEBAN

Carence en Souffre :

La carence en soufre crée un jaunissement de feuillage.



© SILEBAN

Carence en Bore :

La carence en bore est source d'un éclatement au niveau racinaire ainsi qu'une augmentation importante du nombre de départs de racines secondaires.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Choux inflorescence

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Choux brocolis	210	70	270	20
Choux fleurs d'été	300	110	390	20
Choux fleurs d'hiver	370	132	486	30

Source : Les choux à inflorescence, CTIFL, 2015

A prendre en compte pour aller plus loin :



mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

L'équilibre entre les éléments NPK suivants peut être retenu : 1/0,35/1.3

La longueur du cycle de la culture ainsi que la densité peut avoir un impact non négligeable sur les besoins nutritionnels, qui sont donc à adapter.

Un reliquat azoté est recommandée sinon obligatoire par la réglementation en vigueur.

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- L'apport de matière organique peut se faire avant plantation, avant les préparations de sols au printemps ou en hiver. Eviter les produits qui minéralisent trop vite. Les engrais verts sont aussi intéressants.
- Une analyse de sol avant plantation est recommandée afin d'équilibrer les éléments PK .

A la plantation

- Des engrais starter N, P incorporés dans la raie de plantation peuvent aider la plante à démarrer plus rapidement. Les conditions de plantations (climat, humidité, structure de sol, désherbage) sont aussi prédominantes.
- Les besoins de la plante en azote sont croissants de la plantation à la couverture du rang (production de biomasse). Les apports sont donc à réfléchir pour ne pas trop donner trop tôt, ni trop tard. Pour les cycles courts (brocolis), un seul apport peut parfois suffire.

Un mois après plantation, avant début de la pomaison

- Compléter les apports d'azote suivant les besoins de la culture, la longueur du cycle et le fractionnement prévu par le reliquat azoté.
- Les apports de P, K ne sont en général plus nécessaires à ce stade.
- Des apports de Bore, oligo-éléments dont le chou a particulièrement besoin sont généralement recommandés en 2 applications à début pomaison, puis pomaison 40%.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



@ Agri-Réseau

Excès d'Azote :

Un excès d'azote entraîne des risques de pourriture prématurée de la pomme et une dégradation rapide au stockage. En cours de culture, à une plus grande sensibilité aux ravageurs (pucerons notamment). Des phénomènes de cœur cruex peuvent aussi en être une cause, entre autres facteurs.



@ PLANETE LFP

Défaut de nutrition en phosphore :

Un problème lié au phosphore sur chou aura pour conséquence un arrêt de la croissance (foliaire et racinaire), dès les premières semaines après plantation. En cours de croissance, un rosissement anormal du feuillage et un arrêt de croissance peuvent être observés. Certaines variétés sont parfois plus sensibles à ce phénomène qui peut toutefois avoir d'autres origines.



@ PLANETE LFP

Défauts de nutrition en calcium :

Un défaut de nutrition en calcium aura pour cause soit un manque de calcium dans le sol, nécessitant un chaulage, soit un stress hydrique impliquant une mauvaise absorption de l'élément pouvant conduire à du tip-burn. A noter que le calcium peut aussi induire des difficultés d'assimilation du K et d'autres éléments en conditions de pH basique.

● Autres conseils

- Les stress hydriques (excès d'eau ou manque d'eau) sont particulièrement néfastes au développement de la culture et à sa nutrition (notamment sécheresse et températures trop élevées), pouvant conduire à des observations similaires à des stress nutritionnels.
- De même les fortes chaleurs peuvent causer des stress comme des apparitions de pousses secondaires qui puisent l'énergie de la plante et affaiblissent le rendement final.
- Des solutions de soutien azoté (bactéries fixatrices d'azote) sur la végétation existent et peuvent, selon les conditions météorologiques permettre d'alimenter la plante en azote sur une plus longue période du cycle.
- Les engrais azotés retardés peuvent être utiles sur les cultures à long cycle, en limitant une trop grande minéralisation de l'azote trop tôt dans le cycle de la culture.

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Choux pommés

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Choux à choucroute	100 t/ha	300	120	350	40
Choux pommés légumes	60 T/ha	180	60	200	30

A prendre en compte pour aller plus loin :



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

Profondeur enracinement : 60 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Choux pommés : 3 kg de N/ha/t

La réalisation d'un reliquat azoté est recommandée
sinon obligatoire par la réglementation en vigueur.

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- L'apport d'une fumure de fond organique ou minérale peut se faire avant plantation, lors des préparations de sols au printemps. Les apports réalisés trop tôt comme à l'automne ne sont pas judicieux car à risque de lessivage ou de rétrogradation.
- Si le chou est culture exigeante en P, K, il reste recommandé d'effectuer une analyse de sol complète avant plantation afin de connaître les équilibres en ces éléments dans la parcelle.

A la plantation

- Des engrais starter N, P incorporés dans la raie de plantation peuvent aider la plante à démarrer plus rapidement. Les conditions de plantations (climat, humidité, structure de sol, désherbage) sont aussi prédominantes.
- Les besoins de la plante en azote sont croissants de la plantation à la couverture du rang. Les apports sont donc à réfléchir pour ne pas trop donner trop tôt. En ce sens, un fractionnement en 2 ou 3 apports de l'azote est souvent prescrit.

Un mois après plantation, avant début de la pommaison

- Compléter les apports d'azote suivant les besoins de la culture et le fractionnement prévu par le reliquat azoté.
- Les apports de P, K ne sont en général plus nécessaires à ce stade.
- Des apports de Bore, oligo-éléments donc le chou nécessite particulièrement sont généralement recommandés en 2 applications à début pommaison, puis pommaison 40%.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



@ PLANETE LFP

Excès d'Azote :

Un excès d'azote entraîne des risques d'éclatement à l'approche de la récolte, une plus grande sensibilité aux ravageurs (pucerons notamment) et à une dégradation de la qualité de la choucroute produite.

Carence en Azote :

Une carence en azote entraîne un faible développement de la culture et un feuillage sans vigueur, voire une sénescence précoce du feuillage.



@ PLANETE LFP

Défaut de nutrition en phosphore :

Un problème lié au phosphore sur chou aura pour conséquence un arrêt de la croissance (foliaire et racinaire), dès les premières semaines après plantation. En cours de croissance, un rosissement anormal du feuillage et un arrêt de croissance peuvent être observés. Certaines variétés sont parfois plus sensibles à ce phénomène qui peut toutefois avoir d'autres origines.



@ PLANETE LFP

Défauts de nutrition en calcium :

Un défaut de nutrition en calcium aura pour cause soit un manque de calcium dans le sol, nécessitant un chaulage, soit un stress hydrique impliquant une mauvaise absorption de l'élément pouvant conduire à du tip-burn. A noter que le calcium peut aussi induire des difficultés d'assimilation du K et d'autres éléments en conditions de pH basique.

● Autres conseils

- Les stress hydriques (excès d'eau ou manque d'eau) sont particulièrement néfastes au développement de la culture et à sa nutrition (notamment sécheresse et températures trop élevées), pouvant conduire à des observations similaires à des stress nutritionnels.
- Des solutions de soutien azotés (bactéries fixatrices d'azote) sur la végétation existent et peuvent, selon les conditions météorologiques permettre d'alimenter la plante en azote sur une plus longue période du cycle.
- Les engrais azotés retards peuvent être utiles sur les cultures à long cycle, en limitant une trop grande minéralisation de l'azote trop tôt dans le cycle de la culture.

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Concombre

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Sous abris	150 t/ha	200	100	300	60

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 30 cm

Besoin en azote par t/rdmt : 1,7 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (25 T/ha). Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Afin d'éviter un excès d'azote, enfouir le fumier au moins trois mois avant plantation.

Fertilisation de couverture (au goutte-à-goutte)

- **S'il n'y a pas eu de fumure de fond** (avant la mise en place de la culture)
 - Faire un apports de 15 Kg de N/ha/semaine au cours du premier mois après la plantation avec un équilibre 1-0,7-2 (N = 15 ; P2O5 = 10 ; K2O = 30)
- Apports hebdomadaires **à partir de la nouaison des premiers fruits**
 - Faire un apports de 25 Kg de N/ha/semaine au cours du premier mois après la plantation avec un équilibre 1-0,5-2 + 0,3 Mg (N = 25 à 30 ; P2O5 = 15 ; K2O = 50 ; MgO = 8)

Fertirrigation : points clés à respecter (exemple sur un engrais 15-5-30)

- **Calculer la quantité d'engrais** en kg à apporter en multipliant la dose hebdomadaire par la surface cultivée. Par exemple sur 400 m², une dose de 10 g/m² correspond à 4 kg d'engrais pour la totalité de la surface.
- **Appliquer l'engrais chaque semaine en ajustant la dose.** Exemple pour 400 m² : voir tableau ci-dessous.
- **Préparation de la solution nutritive** : Mélanger 25 kg d'engrais dans 200 L d'eau pour obtenir une concentration de 12,5%. Utiliser une pompe doseuse réglée à 1 % pour appliquer la solution diluée sur la culture.
- **Ajuster la quantité de solution à appliquer** : sur 400 m², la quantité varie entre 32 et 48 litres selon les semaines (voir tableau ci-dessous)

Période	Engrais (en g/m ²)	Engrais pour 400 m ²	Solution à apporter
1ier mois de production	10 g/m ²	4 kg	32 L
à partir du début nouaison	15 g/m ²	6 kg	48 L

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



Carence et excès en Azote :
 Une carence en azote entraîne des fruits déformés, enroulés et pointus à leur extrémité, une végétation réduite et un feuillage vert clair.
 Un excès d’azote entraîne des défauts de nouaison, un emballement de végétation (au détriment de la formation des organes génératifs) et une sensibilité aux maladies.



Carence en Potassium :
 La carence en potassium est source d’une chlorose en marge des feuilles qui peut devenir bronzée ou roussie.



Carence en Magnésium :
 Une carence en magnésium crée une moucheture chlorotique internervaire sur les feuilles (cette carence peut être confondu avec de l’acarien).

● Autres conseils

- La fertilisation est à arrêter deux semaines avant la fin de la récolte.
- Après 10 semaines d’apport, la totalité des besoins de la culture sont pourvus.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Courge

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Plein champ	40 t/ha	120	60	120	30
Sous abris	40 t sur 300 m ²	3,6	1,8	3,6	0,9

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 20 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Courge plein champ : 3 kg de N/ha/t
- Courge sous abris : 12 g de N/m²/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (15 à 25 T/ha). Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.

Durant la végétation

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Humidification ou irrigation de la culture après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Fractionnement pour la culture des courges

- A la plantation : 45%
- En début de fructification : 55% (attention à ne pas brûler le feuillage)

Fractionnement pour la culture des courgettes

- A la plantation : 35%
- En début de fructification : 65% (attention à ne pas brûler le feuillage)

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© PLANETE LFP

Excès en Azote :

Un excès d'azote entraîne des défauts de nouaison, un emballement de végétation (au détriment de la formation des organes génératifs) et retarde la floraison.



© PLANETE LFP

Carence en Fer :

Cela entraîne un blanchiment entre les nervures des jeunes feuilles. Les nervures restent vertes. Ensuite, les plus grandes feuilles vont jaunir et la croissance va ralentir. Dans les cas les plus sévères, les feuilles peuvent mourir.



© PLANETE LFP

Carence en Magnésie :

Cela entraîne une décoloration allant du jaune-vert au jaune entre les nervures. Des taches marrons et jaunes sur les anciennes feuilles. La plante produira moins de fruits et de fleurs. La tige des feuilles deviendra violette. Le bout des feuilles va s'enrouler.



© PLANETE LFP

Carence en Manganèse et Molybdène :

Cela se distingue par une ressemblance souvent à une carence en azote. Les anciennes feuilles à la base jaunissent et des taches sombres peuvent apparaître. Une carence en molybdène est reconnaissable par une coloration orange, rouge ou rose sur les bords des feuilles.

● Autres conseils

- Eventuellement, en sol calcaire, on peut apporter à la plantation une fumure starter dans le goutte à goutte, avec 2 apports de 50 kg/ ha de phosphate mono-ammonique (12 - 61), espacés d'une semaine.
- Attention une fertilisation trop importante peut favoriser le développement végétatif au détriment de la floraison et de la nouaison des fruits.

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Courgette

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Sous abris	60 t/ha	180	24	200	8
Plein champ	40 t/ha	120	24	200	8

A prendre en compte pour aller plus loin :

 **mobilsations = exportations + restitutions**
mobilsations ≠ fertilisation à apporter

Profondeur enracinement : 60 cm
Besoin en azote par t/rdmt : 3 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (15 à 20 T/ha). Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Afin d'éviter un excès d'azote, enfouir le fumier au moins trois mois avant plantation.

Fertilisation de couverture (au goutte-à-goutte)

- **S'il n'y a pas eu de fumure de fond** (avant la mise en place de la culture)
 - Faire un apport de 10 Kg de N/ha/semaine 15 jours après plantation, avec un équilibre 1-0,6-1,5 (N = 10 ; P2O5 = 6 ; K2O = 15). L'irrigation est à limiter à l'implantation afin de favoriser le développement racinaire.
- Apports hebdomadaires **à partir de la nouaison des premiers fruits**.
 - Faire un apport de 15 Kg de N/ha/semaine avec un équilibre 1-0,6-1,5 (N = 15 ; P2O5 = 9 ; K2O = 22). La fertilisation peut être ajustée en accord avec un suivi régulier de l'azote.
- **pH de la solution nutritive** entre 5,5 et 6,5

Fertirrigation : points clés à respecter (exemple sur un engrais 15-5-30)

- **Calculer la quantité d'engrais** en kg à apporter en multipliant la dose hebdomadaire par la surface cultivée. Par exemple sur 400 m², une dose de 10 g/m² correspond à 4 kg d'engrais pour la totalité de la surface.
- **Appliquer l'engrais chaque semaine en ajustant la dose**. Exemple pour 400 m² : voir tableau ci-dessous.

- **Préparation de la solution nutritive** : Mélanger 25 kg d’engrais dans 200 L d’eau pour obtenir une concentration de 12,5%. Utiliser une pompe doseuse réglée à 1 % pour appliquer la solution diluée sur la culture.
- **Ajuster la quantité de solution à appliquer** : sur 400 m², la quantité varie entre 32 et 48 litres selon les semaines (voir tableau ci-dessous)

Période	Engrais (en g/m²)	Engrais pour 400 m²	Solution à apporter
1er mois de production	10 g/m²	4 kg	32 L
à partir du début nouaison	15 g/m²	7 kg	48 L

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



Excès en Azote :

Un excès d’azote entraîne : des défauts de nouaison, un développement foliaire excessif (au détriment de la formation des fruits) et retard de la floraison.

Une carence en azote induit un jaunissement marqué des plus vieilles feuilles qui peuvent se nécroser. La croissance est réduite.



© Ephytia

Carence en Manganèse :

Les courgettes sont sensibles aux carences en Manganèse causant chlorose inter-nervaires sur jeunes feuilles.

● Autres conseils

- La courgette préfère les sols aérés et humifères. Elle est sensible aux excès d’eau, éviter les sols asphyxiants.
- Un complément à base de potasse peut être réalisé avec un apport de vinasse de betterave ou de patenkali.
- Respecter une densité maximale de 12 000 pieds/ha. La fertilisation est à arrêter 2 semaines avant la dernière récolte.

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Céleri

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Céleri branche	60 t/ha	200	80	400	30
Céleri rave	50 t/ha	175	75	415	35

A prendre en compte pour aller plus loin :

 **mobilisations = exportations + restitutions**
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

Profondeur enracinement : 30 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Céleri branche : 3,33 Kg de N/ha/t
- Céleri rave précoce : 5 Kg de N/ha/t
- Céleri rave : 3,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (30 T/ha) pour le céleri branche. Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Il est déconseillé d'apporter une fumure organique juste avant l'installation de la culture (préférer un apport avant le précédent cultural) pour le céleri rave.

Durant le végétation

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Humidification de la culture après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Fractionnement pour la culture du céleri branche

De l'apport azoté total pour un sol correctement pourvu (selon minéralisation du sol) :

- à la plantation : 50%
- 6 semaines après plantation : 50%

Fractionnement pour la culture du céleri rave

De l'apport azoté total pour un sol correctement pourvu (selon minéralisation du sol) :

- A la plantation : 50% (céleri précoce) ou 25% (céleri de conservation)
- 1 semaine après plantation (stade 6-7 feuilles) : 25% (céleri de conservation)
- 4 semaines après plantation (stade 10-11 feuilles) : 25%
- Début de boulage : 25%

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© PLANETE LFP

Carence en Azote :

Un excès d'azote entraîne un brunissement interne et des nécroses au cœur, une mauvaise assimilation en Bore et une montaison précoce pour le céleri branche. Identique pour le céleri rave mais avec un cœur creux.



© Andreas FELBER

Carence en Bore et Magnésium (chlorose) :

Cela entraîne un jaunissement des feuilles et une nécrose de la racine.

- Apport de 25 kg/ha de Boracine (au sol)
- Apport de solution de borate de 1% à 2,5% (foliaire)



© Andreas FELBER

Carence en Fer :

Risque de carence en Fer par temps chaud.

Carence en Calcium :

Forte sensibilité à l'excès de Calcaire, mais sensible à la carence en Calcium (maladie du cœur noir).

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- Déconseillé d'apporter de l'azote après la mi-juillet (risque de non minéralisation) pour le céleri rave.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Echalote

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Echalote traditionnelle	20 t/ha	100	50	150	25
Echalote de semis	40 t/ha	150			

 **mobilisations = exportations + restitutions**
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur d'enracinement : 30 - 50 cm

Au sein de la directive nitrates, la culture est soumise à une dose plafond de 120 unités d'azote/ha. La réalisation d'une analyse de sol et d'un reliquat de sortie hiver (RSH) sont recommandés pour ajuster au mieux la fertilisation.

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- La fumure de fond (P, K) est généralement apportée avant plantation.
- Sur culture d'alliacées, limiter le recours au chlorure de potassium (KCl) pour la fertilisation potassique et privilégier la forme sulfate de potasse.
- Pour les engrais phosphatés, favoriser les formes superphosphates ou phosphate protégé dans les sols calcaires (plus de 10 % de CaCO₃) ou à pH élevé > à 7,5.
- Les besoins en azote sont faibles en début de cycle, la culture prélève généralement sur les mois de mai-juin. Appliquer 20 à 40 % des besoins. En cas de RSH élevé, limiter l'apport azoté pour éviter une végétation excessive.

Stade 4-5 feuilles (BBCH 14-15) et début bulbaison

- Apporter le reste de l'azote en 1 ou 2 apports en fonction, des apports précédents, du type de sol et du développement de la culture.
- Des mesures du niveau d'azote disponible dans le sol (test nitrate) peuvent être réalisées pour ajuster les apports en cours de culture.
- Ne pas négliger les engrais soufrés au dernier apport. Les besoins en soufre des alliacées sont généralement de 50 à 100 unités durant le cycle cultural.

● Les carences à surveiller sur la culture



© Indian Council of Agricultural Research

Carence en Azote :

Une carence en azote est similaire à une carence en soufre et se traduit par l'apparition d'un feuillage vert pâle à jaune, un dessèchement du bout des feuilles, un retard de croissance et des bulbes plus petits.



Carence en Calcium :

L'extrémité du feuillage se dessèche brutalement puis nécrose. L'absorption du calcium par la plante est dépendante de la transpiration et de la disponibilité en eau. Ainsi même si l'élément est présent dans le sol, la plante ne peut le transporter en cas de stress hydrique (carence induite).

● Autres conseils

- Ne pas excéder 50 unités d'azote par apport pour éviter les à-coups de développement.
- En cours de culture et en cas de temps sec, prévoir une incorporation par binage des engrais.
- Un excès d'azote peut engendrer un excès de végétation (plus sensible aux maladies comme le mildiou, le botrytis et la bactériose) et une perte de qualité en conservation.
- La culture des échalotes est également sensible aux carences d'autres oligo-éléments. Des applications d'engrais foliaires à base de manganèse peuvent être à prévoir en début de cycle suivi d'apports de bore et de calcium entre les stades BBCH 16 (6 feuilles) et BBCH 45 (50 % de bulbaison). Enfin l'apport d'engrais foliaire potassique en cours de bulbaison peut aider à améliorer la qualité en stockage.
- Ne pas mettre de fumure organique avant une culture d'alliacées (risque d'attaque de mouche), à réaliser l'année précédente.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Epinard

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Epinard de printemps	12 t/ha	170	25	200	20
Epinard d'été	12 t/ha	140	25	200	20
Epinard d'automne	12 t/ha	190	25	200	20
Epinard 2 coupes	20 t/ha	160	60	240	30

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 30 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Epinard de printemps: 14 Kg de N/ha/t
- Epinard d'été : 11,5 Kg de N/ha/t
- Epinard d'automne : 15,5 kg de N/ha/t
- Epinard 2 coupes : 8 kg de N/ha/t



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20 à 25 T/ha)

Au semis ou à la plantation

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 30% du besoin en azote (si 2 coupes) ou 40 % (si 1 coupe), 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.

3 semaines après semis

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 40% du besoin en azote (si 2 coupes) ou 60 % (si 1 coupe), 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.

6 semaines après semis

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 35 % du besoin en azote (si 2 coupes).

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



@: teagasc.ie

Carence en Bore :

Carence vraie ou induite liée à un pH basique, un excès de Ca ou de K, une faible luminosité ou la sécheresse.



@: bdb.be.fr

Carence en Mangagénèse (Mn):

Carence vraie (généralement en sol sableux, acide et lessivé) ou causé par un pH excessif, présence de MO dans l'eau d'arrosage et sécheresse.



@: iapn.de

Carence en Magnesium :

Risque de carence induite en magnésium en cas de chaulage excessif. Une Décoloration d'abord internervaire sur les vieilles feuilles (couleur pouvant aller du blanc au brun rouge).



@: sustainablemarketfarming.com

Carence en Azote :

Chlorose commençant par les feuilles due à un manque de chlorophylle. Retard de croissance, plante chétive,...

Carence en Potassium :

Carence vrai ou induite liée à un excès de calcium, magnésium ou d'azote.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage. Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- L'épinard apprécie les sols riches en matière organique, beaucoup moins les sols sableux, très argileux ou acides.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Fenouil

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Fenouil	40 t/ha	180	50	280	30



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 20 cm

Besoin en azote par t/rdmt : 4,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (30 à 40 T/ha)

Au semis ou plantation

- Si aucun apport de fond n'est réalisé, faire un apport correspondant à : 40% du besoin en azote.
- Pour l'azote, préférer un apport sous forme ammoniacal.

Après la reprise ou après éclaircissage

- Si aucun apport de fond n'est réalisé, faire un apport correspondant à : 30% du besoin en azote si aucun apport de fond n'est réalisé.

En début de bulbification (stade 8-10 feuilles vraies)

- Si aucun apport de fond n'est réalisé, faire un apport correspondant à : 30% du besoin en azote

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© : e-gro.org

Carence en Azote :

En manque d'azote, les feuilles les plus anciennes présentent un jaunissement plus marqué et ont tendance à se nécroser et à se dessécher. La croissance des plantes est limitée.

Le fenouil est tolérant aux carences en bore et magnésium. Il résiste bien à la salinité.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Fraise

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Fraise de printemps	15 t/ha	80	40	150	20

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 45 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Fraise de printemps : 6 Kg de N/ha/t
- Fraise remontante : 4.5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Lors de la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20-30 T/ha)
- Les équilibres N, P, K des exportations : Année 1 (automne-végétation): 1-0.8-1.15
- 1 mois après la plantation :
 - **Fertilisation en plein** : faire un apport de 20 Kg de N/ha, 15 Kg de P/ha, 25Kg de K/ha
 - **Ferti-irrigation** : Faire 5 apports de 4 Kg de N/ha/semaine avec d'un engrais d'équilibre 1-0.8-1.15.

A la reprise de la culture au printemps (floraison-fructification)

- Les équilibres N, P, K des exportations : Année 2 printemps floraison-fructification) : 1-0.45-2
- En cas de sol à pH trop élevé 7.5-8, éviter le nitrate de Ca et faire des apports de chélates de fer en foliaire
- **Stratégie fertilisation en plein** :
 - 1ier apport : 20 Kg de N/ha (forme ammoniacale), 10 Kg de P/ha, 40 Kg de K/ha
 - 2ième apport : 40 Kg de N/ha (2/3 nitrate de soufre + 1/3 nitrate de calcium), 20 Kg de P/ha, 80Kg de K/ha.
- **Stratégie en ferti-irrigation** :
 - Du démarrage au début floraison : 2 Kg de N/ha/semaine avec un équilibre 1-1-1,4.
 - Durant la floraison : 5 Kg de N/ha/semaine avec un équilibre 1-0,5-1,6.
 - En période de grossissement du fruit : apport de floraison + 2 Kg de N/ha/semaine sous forme de nitrate de calcium

En automne, pour permettre une production en N+1

- Les équilibres N, P, K des exportations : 1-0.8-1.15
- Réaliser la fertilisation la dernière semaine d’aout :
 - **Fertilisation en plein** : faire un apport de 20 Kg de N/ha, 15 Kg de P/ha, 25Kg de K/ha
 - **Ferti-irrigation** : Faire 5 apports de 4 Kg de N/ha/semaine avec d’un engrais d’équilibre 1-0.8-1.15.

Fertirrigation : points clés à respecter

- **Calculer la quantité d’engrais en kg** à apporter en multipliant la dose hebdomadaire par la surface cultivée. Par exemple sur 400 m², une dose de 15 g/m² correspond à 6 kg d’engrais pour la totalité de la surface.

Stade culture	Ex Equilibre adapté	Engrais (en g/m²/sem)	Engrais (en Kg/ha/sem)
Automne (année mise en place)	12-9-34	3.3 g/m²	33 Kg/ha
Printemps : démarrage	12-12-17	1.7 g/m²	17 Kg/ha
Printemps : Floraison	16-6-26	3.1 g/m²	31 Kg/ha
Printemps : Fructifcation	16-6-26 + Calcinit (15.5-0-0 + 27 CaO)	3.1 g/m² + 1,3 g/m² de Calcinit	31 Kg/ha + 13 Kg/ha de Calcinit
Automne (suivant la récolte)	12-9-34	3.3 g/m²	33 Kg/ha



● Les carences et excès à surveiller sur la culture



Carence et excès en Azote :

Une carence azoté entraîne une réduction de la masse foliaire, un rougissement de l'extrémité des folioles, production de stolons limitée et une réduction du nombre de cœurs.

En cas d'excès, il induit une résistance moindre aux bio-agresseurs et une diminution de la qualité du fruit.



Carence en potassium :

Une carence en potassium entraîne une réduction de la surface foliaire. En période de floraison, il est source d'un brunissement diffus des dents des feuilles et de l'espace internervaire.

En cas d'excès, il limite l'absorption du magnésium et du calcium qui se traduit par une augmentation de l'acidité et une baisse de fermeté.



Carence en Fer :

La carence en fer se manifeste par une décoloration internervaire des jeunes feuilles (à ne pas confondre avec les acariens qui créent des symptômes similaires sur les feuilles âgées). Cette carence est induite par un pH de sol élevé.



Carence en Bore :

La carence en bore se manifeste par l'apparition de fruits petits, mous, déformés et une croissance des feuilles perturbée. Elle est courante quand la fraise a comme précédent une culture exigeante en Bore comme le chou.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- La méthode pilazo permet de piloter la fertilisation grâce au dosage rapide des nitrates dans les jus extraits des pétioles provenant de jeunes feuilles adultes. L'interprétation des résultats se fait grâce à des valeurs seuils et des grilles de décision qui permettent de déterminer le nombre d'unités d'azote à apporter par semaine.
- Apporter les éléments en fonction, des apports précédents, du rendement recherché, des reliquats azotés en sortie hiver.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Haricot

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Haricot vert	10 t/ha	130	40	130	6
Haricot à écosser	8 t/ha	104	40	168	16
Haricot nain	12 t/ha	110	36	120	12

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 10 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Haricot vert : 13 kg de N/ha/t
- Haricot à écosser : 13 kg de N/ha/t
- Haricot nain : 9,2 kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- La fumure peut être organique ou minérale.
- Il est déconseillé d'apporter une fumure organique juste avant l'installation de la culture (préférer un apport avant le précédent cultural).
- Le haricot n'est pas une culture très exigeante en fertilisation azotée comme elle fixe de l'azote de l'air au niveau des racines. Toutefois, le sol devra être assez pourvu pour assurer un bon démarrage. De plus, la fixation de l'azote atmosphérique n'est efficace qu'à partir du stade de la floraison.
- La fumure de fond doit être adaptée aux teneurs en éléments nutritifs présents dans le sol. Pour un objectif de rendement de 12 t/ha pour les haricots nains, on vise avant semis ou plantation en kg/ha : 80 N, 40-60 P2O5, 120-150 K2O et 50 MgO.

Durant la végétation

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (pour éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol, associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

Fractionnement pour la culture d'haricot vert et à écosser

- Au semis ou à la plantation : 40%
- Le reste est apporté grâce aux nodosités.

Fractionnement pour la culture d'haricot nain

- Au semis ou à la plantation : fertiliser pour atteindre 80 uN (analyse de reliquats azotés !).
- Le reste est généralement fourni grâce aux nodosités et grâce à la minéralisation du sol. En cas de manque un apport peut être réalisé au stade floraison en raison d'environ 30 uN.
=> Dans des sols bien pourvus, il se peut qu'aucun apport azoté ne soit nécessaire.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© University of Nebraska

Excès en Azote :

Un excès d'azote entraîne :

- une inhibition du fonctionnement symbiotique de part une mauvaise formation des nouveaux nodules.
- une favorisation les maladies (botrytis, rouille...)
- une coulure des fleurs.



© PLANETE LFP

Carence en Zinc :

Carence induite en Zinc en sol à pH trop élevé. Cela est plutôt rare mais affecte négativement la croissance et la qualité de la culture.



© PLANETE LFP

Carence en Cuivre :

Carence induite en Cuivre en sol à pH trop élevé. Les feuilles s'enroulent et développent des extrémités blanches, puis meurent.



© PLANETE LFP

Carence en Manganèse :

Carence induite en Manganèse en sol à pH trop élevé et en cas de chaulages excessifs. On observe des dessèchements blancs à beige alignés entre les nervures, surtout sur la courbure de la feuille.

● Autres conseils

- Azote atmosphérique pour la culture d'haricot vert et à écosser :
 - Fixé par *Rhizobium phaseoli* (bactérie fixatrice de l'azote de l'air).
 - Symbiose optimale entre la plante et la bactérie :
 - *pH compris entre 6 et 6,5
 - *100 kg/ha de P2O5 assimilable au minimum

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Jeunes pousses

● Besoins totaux de la culture : -----

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Mesclun (mâche, chicorée, laitues...)	8 t/ha	60	30	85	10



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 5 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Mesclun : 7,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation : -----

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire avant la mise en place de la culture : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (15 T/ha)
Il est déconseillé d'apporter une fumure organique juste avant l'installation de la culture (préférer un apport avant le précédent cultural)

Au semis ou à la plantation

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 40% du besoin en azote, 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.

Au stade 3-4 feuilles

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 60% du besoin en azote, 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



©cdfa.fr

Carence en Azote :

Une carence en azote provoque un ralentissement du développement végétatif couplé à un jaunissement du feuillage.



© FG

Carence en Phosphore :

Peut être liée à un pH trop élevé en sol calcaire ou trop bas ($\text{pH} < 5,5$).

Un excès de nitrates (NO_3) ou de sulfates (SO_4) ou encore une température du sol trop basse. On observe alors une coloration pourpre et un dessèchement progressif.

©Katharina Anneser Institut für Gartenbau



©cdfa.fr

Carence en Potassium :

une carence en potassium provoque des jaunissements, puis des nécroses sur la bordure des feuilles. Le système racinaire ne se développe plus.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- Le mesclun est très sensible au stress hydrique, le sol doit être en permanence humide.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Légumes secs

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Lentille	20 qx/ha	200	32	120	25
Pois chiche	25 qx/ha	250	20	20	25

 **mobilisations = exportations + restitutions**
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement :

- Pois chiche : 50 à 80 cm
- Lentille : 40 à 70 cm

Besoin de 10 unités d'azote par quintal de rendement

● La fertilisation des légumes secs :

Apport d'azote et nodulation

- **Aucun apport azoté n'est à prévoir sur ces cultures.**

Comme toutes légumineuses, la lentille et le pois chiche ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium* (lentille) et *Mézorhizobium* (pois chiche). Si cette bactérie est présente naturellement dans les sols français pour la lentille, une inoculation peut s'avérer nécessaire pour le pois chiche.

En l'absence de nodulation constatée à la floraison (photo ci-contre), un apport d'azote peut être envisagé. Dans la région Grand Est, cet apport est actuellement fixé à **50 unités (à moduler selon la réglementation en vigueur)**



Facteurs limitant la nodulation

- **La présence d'azote minéral** : la présence de nitrates limite la fixation de l'azote atmosphérique car la légumineuse favorisera l'assimilation racinaire « classique », moins énergétique. Privilégier dans la rotation des cultures gourmandes en azote avant la mise en place des légumes secs. Un reliquat élevé au dessus de 60 unités peut freiner la mise en place des nodosités.
- Un **déficit hydrique** en début de cycle et des **températures très élevées** (>25°C)
- **La présence de sitones et maladies racinaires**

- **Les sols avec des pH faibles (<5)** sont à proscrire car ils limitent la survie de la bactérie et son développement.

Phosphore, potasse et oligo-éléments

- **Pour le phosphore et la potasse, la lentille et le pois chiche sont considérées comme moyennement exigeantes.** Ces apports sont réalisés en début de cycle soit directement après le semis ou au moment de la croissance végétative.

En lentille, pour un rendement de 15 à 25 q/ha, un apport de 30 à 50 unités de P₂O₅, 60 à 80 unités de K₂O et 20 à 25 unités de Mg sont généralement réalisés.

En pois chiche, pour un rendement de 20-30 q/ha, des apports de 30 à 50 kg/ha de P₂O₅ et de 40 à 80 kg/ha de K₂O sont recommandés.

- Des apports en oligo-éléments comme le Bore, le Fer ou le Molybdène peuvent être réalisés. Ces éléments sont apportés en foliaire, durant la phase végétative ou au stade début floraison.

● Les pathogènes à surveiller en début de cycle



© Terres Inovia

Sitone du pois :

Les larves de sitones s'attaquent au système racinaire et se développent dans les nodosités. Les hivers doux et secs lui sont favorables.



© PLANETE LFP

Maladies telluriques :

Plusieurs pathogènes peuvent provoquer des maladies racinaires (*Fusarium spp*, *rhizoctonia solani*, *Pythium spp*, *Phoma spp*, *Phytophthora spp*). Si l'attaque est précoce et sévère, les plantes sont nanifiées et le fonctionnement des nodosités sera altéré. Pour limiter le risque, le délai de retour entre deux cultures sensibles doit être d'au moins 5 ans

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage. Attention, **un apport d'azote doit rester exceptionnel**, pour substituer un échec non anticipé.
- Arroser après un apport d'engrais solides pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante (début de cycle uniquement).

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Melon (et pastèque)

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Melon sous-abris	25 t/ha	120	60	240	60
Melon plein-champ	20 t/ha	75	40	140	40
Pastèque	20 t/ha	90	50	200	50

 *mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 60 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Melon sous-abris : 4,5 Kg de N/ha/t
- Melon en plain champ : 3,3 Kg de N/ha/t
- Pastèque : 4,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (15 T/ha)
- Les équilibres N, P, K des exportations sont aux alentours de 1-0.5-2-0.4

A la mise en place de la culture

- Faire un apport correspondant à : 30% du besoin en azote, 100% du besoin en phosphore, 50% du besoin en potasse et 100% du besoin en magnésium.
- L'azote peut être apporté sous forme ammoniacale (préférer un engrais de type phosphate ammoniacal)

A l'apparition des fleurs femelles (BBCH61)

- Faire un apport correspondant à : 35% du besoin en azote.

Avant que le fruit n'atteigne le moitié de sa grosseur (BBCH74)

- Faire un apport correspondant à : 35% du besoin en azote et 50% du potasse.
- Préférer un engrais sous forme de nitrate de potasse.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© Yara

Carence et excès en Azote :

La carence en azote se manifeste initialement sur les feuilles jeunes. Elle se traduit par un jaunissement uniforme, un nanisme de la plante et des fruits de taille réduite, souvent allongés, avec une chair de couleur claire.

Un excès d'azote entraîne une vigueur importante, des risques de coulures des fleurs et des fruits, une diminution du nombre de fleurs femelles, une sensibilité accrue aux maladies et ravageurs.



© Yara

Carence en Potassium :

La carence en potassium s'exprime par une nécrose du bord des jeunes feuilles. Le fruit quant à lui a une chair granuleuse et amère.



© Yara

Carence en Magnésium :

La carence en magnésium s'exprime généralement par une décoloration pouvant aller jusqu'à la nécrose sur les feuilles âgées entre les nervures des feuilles.



© Yara

Carence en Molybdène :

Le melon est particulièrement sensible à la carence en molybdène. Elle se manifeste par une décoloration des feuilles allant du vert pâle à ivoire de manière internervaire. En cas de carence forte, les bordures des feuilles se dessèchent progressivement.

● Autres conseils

- Eviter les engrais sous forme chlorée ou riches en sodium.
- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- Une mauvaise gestion de la fertirrigation entraîne une vitrescence de la chair du fruit.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Navet

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Navet	35 t/ha	130	45	220	25



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 50 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Navet : 3,5 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique et/ou amendement si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20-30 T/ha)
- Il est déconseillé d'apporter une fumure organique juste avant l'installation de la culture (préférer un apport avant le précédent cultural)

Au semis ou à la plantation

- Faire un apport correspondant à : 50% du besoin en azote, 100% du phosphore, 50% du potasse et 100% du magnésium.
- Pour l'azote, préférer un apport sous forme ammoniacal.
- Le Patentkali est adapté pour l'apport de potasse et de magnésium.

Au début de la tubérisation (2,5 mois après semis)

- Faire un apport correspondant à : 50 % du besoin en azote et 50 % du potassium.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© : agric

Excès et carence en Azote :

Un excès en apport azoté induit un feuillage abondant au détriment de la tubérisation du pivot racinaire.

Une carence en azote provoque une coloration violacée du feuillage et un blocage du développement de la plante. Ces symptômes peuvent être confondus avec un stress hydrique ou liées à de basses températures.



© : PLFP

Carence en Bore :

Le navet a une forte sensibilité à la carence en Bore (due à un excès de Calcium). Elle entraîne la **maladie du cœur brun**.

Cette maladie se caractérise par des racines fibreuses, la présence de taches diffuses sur l'épiderme, et d'un noircissement du cœur de la racine ou de cavités internes brunes.

Les feuilles jaunissent à la marge des jeunes feuilles qui progresse entre les nervures. Des brûlures succèdent aux jaunissements. Les feuilles sont petites, déformées et le pétiole est plus épais

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- Le navet succédant souvent à une plante ayant reçu une abondante fumure, profite alors des éléments fertilisants non utilisés par la première culture.
- Le pH optimal du sol pour la culture de navet est de 6 à 7.



Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Oignon

● Besoins totaux de la culture (semis uniquement) :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Oignon de garde	80 t/ha	200	80	180	30
Oignon de printemps/botte	40 t/ha	115	45	145	30

 mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur d'enracinement : 30 - 50 cm

En Alsace, Ardennes, Marne et dans certains types de sols de l'Aube et de la Haute-Marne, la dose prévisionnelle d'azote à apporter est à calculer selon la méthode du bilan additif. La réalisation d'un reliquat azoté de sortie hiver (RSH) est donc nécessaire.

Le recours à une analyse de sol est également conseillé pour ajuster au mieux la fumure de fond.

● Fractionnement de la fertilisation (oignon de semis) :

Avant la mise en place de la culture

- La fumure de fond (P, K) est généralement apportée lors des dernières préparations du sol ou au semis.
- Sur culture d'alliacées, limiter le recours au chlorure de potassium (KCl) pour la fertilisation potassique et privilégier la forme sulfate. Il est également recommandé de fractionner l'apport de potasse en 2. Environ 50 % avant semis, puis 50 % durant le développement du bulbe (sous forme nitrate de potasse par exemple).
- Pour les engrais phosphatés, favoriser les formes superphosphates ou phosphate protégé dans les sols calcaires (plus de 10 % de CaCO_3) ou à pH élevé > à 7,5.
- Les besoins en azote sont faibles jusqu'au stade 4 feuilles de l'oignon. Le premier apport d'azote n'excède généralement pas 30 unités.

Stade 3 à 5 feuilles (BBCH 13 à 15)

- La fertilisation azotée est à adapter en fonction du type de sol, des précipitations et de l'irrigation, des analyses et du rendement attendu.
- A ce stade, la culture prélève environ 40 % de l'azote dont elle a besoin.
Le deuxième apport est généralement compris entre 30 et 50 unités.

Stade 6 feuilles à début bulbaison (BBCH 16 à BBCH 41)

- Apporter le reste des éléments (azote, potasse) en fonction, des apports précédents. Il est recommandé de ne pas dépasser 120 unités d'azote apportées au total en sol lourd (160 unités environ en sol léger) pour garantir une qualité suffisante du bulbe en stockage.
- Fractionner les apports (3 ou 4 en fonction du type de sol) avant bulbaison. Des mesures du niveau d'azote disponible dans le sol (test nitrate) peuvent être réalisées pour ajuster les apports en cours de culture.
- Ne pas négliger les engrais soufrés au dernier apport. Les besoins en soufre des alliacées sont généralement de 50 à 100 unités durant le cycle cultural.

● Les carences sur la culture



© Indian Council of Agricultural Research

Carence en Azote :

Une carence en azote est similaire à une carence en soufre et se traduit par l'apparition d'un feuillage vert pâle à jaune, un dessèchement du bout des feuilles, un retard de croissance et des bulbes plus petits.



Carence en Calcium :

L'extrémité du feuillage se dessèche brutalement puis nécrose. L'absorption du calcium par la plante est dépendante de la transpiration et de la disponibilité en eau du sol. Ainsi même si l'élément est présent dans le sol, la plante ne peut le transporter en cas de stress hydrique (carence induite).

● Autres conseils

- Ne pas excéder 50 unités d'azote par apport pour éviter les à-coups de développement.
- En cours de culture et en cas de temps sec, prévoir une incorporation par binage des engrais.
- Un excès d'azote ou des apports trop tardifs peuvent engendrer un excès de végétation (plus sensible aux maladies comme le mildiou ou la bactériose) et une perte de qualité en conservation.
- La culture de l'oignon est également sensible aux carences d'autres oligo-éléments. Des applications d'engrais foliaires à base de manganèse et de zinc sont à privilégier en début de cycle. Des apports de bore et de calcium sont également à prévoir entre les stades BBCH 16 (6 feuilles) et BBCH 45 (50 % de bulbaison). Enfin l'apport d'engrais foliaire potassique en cours de bulbaison peut aider à améliorer la qualité en stockage.
- Ne pas mettre de fumure organique avant une culture d'alliacées (risque d'attaque de mouche), à réaliser l'année précédente.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Patate douce

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K
Plein champ	45 t/ha	100	50	200

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 50 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Patate douce: 2,22 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Amendement à dose moyenne : des apports de fumier bien décomposé de l'ordre de 15 à 20 T/ha peuvent être réalisés.
- Aucun apport nécessaire si la culture bénéficie des reliquats derrière une tête de rotation.

En cours de culture

- L'apport d'azote va favoriser la croissance de la partie aérienne.
- Privilégier des formulations N-P-K renforcé en potassium de type 1-1-2.
- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Un arrosage après un apport permet une meilleure absorption des éléments nutritifs par la plante.

Fractionnement de l'apport azoté total

- Avant la plantation, au moment du buttage : 50 %
- 30 jours après plantation (début tubérisation) : 50 %

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© PLANETE LFP

Excès en Azote :

Un excès d'azote peut entraîner un développement excessif du feuillage au détriment des tubercules ainsi qu'une sensibilité accrue aux maladies et aux ravageurs.



© PLANETE LFP

Carence en Azote et Potassium :

Un manque d'azote et de potassium provoquera une irrégularité dans la taille des tubercules.

● Autres conseils

- Selon le précédent cultural et les analyses de sol, des apports de bore à hauteur de 6 kg/ha peuvent être réalisés.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Petits fruits

(myrtille, framboise, groseille)

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Myrtille	12 t/ha	50	60	80	20
Framboise (groseille, cassis, mûre)	10 t/ha	70	30	110	15

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 40 cm pour les myrtilles, 45 cm pour les framboise, 35 cm pour les groseilles.

Besoin en azote par t/rdmt :

- myrtille : 4 Kg de N/ha/t
- Framboise : 7 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Myrtille : A la mise en place de la culture

- La myrtille est souvent cultivée dans un matériel organique non composté (copeau, fibre de bois et/ou sciure). Pour compenser la faim d'azote qui va être causée par ce substrat, il est nécessaire de réaliser un apport spécifique de 100 Kg d'azote/ha lors de l'année de plantation.

Myrtille

- Durant la production, il est conseillé d'utiliser des engrais acidifiants tels que le sulfate d'ammonium, le sulfate de magnésie, le sulfate de potassium et les engrais phosphatés.
- Les besoins de la plante sont aux alentours de 30 Kg de soufre à l'hectare (entre 50 et 100 g de soufre par plante).
- Au débourrement : faire un apport de 20 Kg/ha d'azote, 40 Kg/ha de phosphore, 40 Kg/ha de potassium, de 10 Kg/ha de magnésium et 20 Kg de calcium (Préférez les formes ammoniacales sauf pour le calcium apporté sous forme de nitrate de calcium)
- En floraison : faire un apport de 30 Kg/ha d'azote, 15 Kg/ha de phosphore, 40 Kg/ha de potassium et 10 Kg/ha de magnésium.

Framboise : Avant la mise en place de la culture

- Le framboisier a besoin d'un niveau d'humus élevé, les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier (30-50 T/ha) 2nd à la floraison : 15 à 40 Kg de N/ha
- Dans les sols carencés, un apport de bore peut être fait avant la plantation sinon quoi ils sont conseillés du débourrement à la floraison sur une base de 2 à 2,5 Kg/ha.
- Les équilibres N, P, K est aux alentours de 1-0,5-1,5 (quelque soit le mode de production)

Framboise : Pour les longues cannes plantées en hiver

- 1er au départ de la végétation après l'hiver : 15 à 40 Kg de N/ha
- 2nd à la floraison : 15 à 40 Kg de N/ha
- Les équilibres N, P, K est aux alentours de 1-0,5-1,5

Framboise : Pour les plants mottes ou racines nues plantées en été

- 1er à la plantation au printemps/été : 20 à 40 Kg de N/ha
- 2nd au départ de la végétation après l'hiver : 20 à 40 Kg de N/ha
- 3ème à la floraison : 0 à 15 Kg de N/ha

Framboise : Cas de la ferti-irrigation

- Au débourrement avec 3 Kg de N/ha/semaine
- Lors du grossissement du fruit : faire avec une montée progressive à 5 Kg de N/ha (cet apport est à moduler selon la vigueur de la plante).

● Les carences et les excès à surveiller sur le framboisier



© Yara

Carence en Azote :

Une carence en azote entraîne une croissance fortement réduite avec de petites feuilles. La nouaison est réduite ou inexistante. Les feuilles plus âgées présentent des symptômes de sénescence avec chlorose puis nécrose. Au début, les nervures des feuilles restent vertes, mais à la fin, le tissu foliaire est complètement pâle. La nécrose progresse à partir des marges et des zones internervaires.

En cas d'excès, il induit une résistance moindre au bio-agresseur, en particulier le puceron et le botrytis.



© Yara

Carence en Fer :

La carence en fer est source d'une pâleur distincte du tissu foliaire alors que les nervures restent vertes. Les symptômes apparaissent généralement d'abord sur les jeunes pousses, mais s'étendent aux feuilles plus âgées en cas de carence persistante.



© Yara

Carence en potassium :

La carence en potassium se manifeste par un jaunissement internervaire et brûlure subséquente des feuilles à partir des feuilles matures. Les feuilles sont sévèrement rabougries.

● Les carences et les excès à surveiller sur le myrtillier



© Ontario U

Carence en Azote :

Les symptômes de la carence en azote comprennent une pâleur ou un jaunissement uniforme (chlorose) des feuilles avec une teinte rougeâtre. Ce phénomène est généralement observé d'abord sur les feuilles plus âgées.

Des quantités excessives de N peuvent entraîner une croissance végétative excessive des myrtilles parfois accompagnées de baies plus petites, mûrissant plus tard et de rendements plus faibles.



© Ontario U

Carence en Fer :

Les symptômes d'une carence en fer (Fe) comprennent le jaunissement (chlorose) entre les nervures de la feuille, les nervures principales et de nombreuses nervures mineures restant vertes.



© Ontario U

Carence en Potassium :

Les symptômes de carence en K peuvent ressembler à des dommages dus à la sécheresse (brûlure des feuilles marginales), ainsi qu'à une déformation des feuilles, une chlorose internervaire et un dépérissement des pointes. La sécheresse, les sols mal drainés, les fortes charges de fruits et le faible pH du sol peuvent contribuer à la carence en K.

● Autres conseils

- En myrtille, la carence induite en Fer et en manganèse sont visibles en sol à pH ou un niveau de calcaire trop élevé.
- Pour la myrtille : Ces bases de calculs proviennent d'informations de l'agroscope et de conseillers Italiens. Dans certaines bibliographies, les besoins en azote peuvent être multipliés par 2.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante.
- Pour les producteurs qui font des framboises en Hors-Sol avec des fraises, la demande en EC des framboises est souvent plus élevé que les fraises. La framboise demande donc un complément d'apport.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Plantes Aromatiques

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation pour 1 cycle cultural (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Persil	15 t/ha	100	40	160	20
Basilic	10 t/ha	180	100	100	20
Coriandre	10 t/ha	50	150	100	20
Ciboulette	4 t/ha	60	100	150	20

A prendre en compte pour aller plus loin :

 mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

Profondeur enracinement : 15 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Persil : 6,5 kg de N/ha/t, Basilic : 18 kg de N/ha/t, Coriandre : 5 kg de N/ha/t, Ciboulette : 15 kg de N/ha/t
- Les besoins exprimés ci-dessus sont ceux des cultures pour une seule coupe

● Fractionnement de la fertilisation du Persil :

Avant la mise en place de la culture

- L'apport d'une fumure de fond organique ou minéral peut-être réalisée avant implantation de la culture.
- Le persil appréciant les sols fertiles et riches en matière organique, il est intéressant d'apporter de la matière organique sous forme de composte ou de fumier composté (**15 t/ha**).

Au semis ou à la plantation

- Faire un apport correspondant à : **75%** du besoin total en **azote**

En cours de culture

- Faire un apport correspondant à : 25% du besoin en azote avant la première coupe
- Pour soutenir la croissance du persil, il est possible d'apporter un engrais équilibré toutes les 4 à 6 semaines. Cela correspond en réalité à une fertilisation avant la première coupe, puis après chaque coupe réalisée. En général, il est possible de réaliser 2 à 3 coupes. Avec un rendement de 30 tonnes/ha.
- Après chaque coupe, il est conseillé de **rapporter 100% des besoins** de la plante.

● Fractionnement de la fertilisation du Basilic : -----

Avant la mise en place de la culture

- Tout comme pour le persil, il est recommandé d'effectuer un apport d'une fumure de fond organique sous forme de composte ou de fumier composté à hauteur de 10-15 t/ha.

A la plantation

- Il est conseillé de fractionner ses apports en 2 ou 3 pour un cycle cultural
- Dans un sol de fertilité moyenne, qui a reçu une bonne fumure de fond, environ 80 à 120 kg d'azote doivent être apportés.
- Procéder par conséquent à un apport correspondant à : environ **deux tiers du besoin en azote** ainsi que **100%** des besoins en **phosphore et en potassium**.
- Le phosphore et le potassium peuvent être apporté en fumure de fond sous forme d'un engrais complet type 0-25-25 à raison de 300 kg/ha.

En cours de culture

- Étant donné qu'il s'agit d'une culture de courte durée, elle répond très bien aux apports d'engrais azotés.
- Apporter le reste de l'azote en **deux doses fractionnées** de part égale au stade 4-6 feuilles, puis lorsque les plants auront atteint 15 cm. Soit un total d'environ **60 unités d'azote**.
- Après la première et la deuxième coupe, apporter à chaque fois **60 unités d'azote**.
- Utiliser un engrais foliaire peut également permettre de conserver un feuillage bien vert.

● Fertilisation de la Coriandre : -----

Une plante exigeante en Phosphore

- En une seule fois, un apport d'engrais (organique ou non) peut être effectué en fumure de fond à l'implantation de la culture (par exemple : 800 kg/ha de 6-15-3).
- Une fumure d'entretien peut être effectuée au stade 2 feuilles et après chaque coupe à hauteur de **50 unités d'azote**. En général, 2 coupes sont garanties.

● Fertilisation de la Ciboulette : -----

Une plante pluriannuelle et multicolore

- Il convient de conserver la culture entre 4 et 5 ans, cette spécificité joue sur la fertilisation
- Avant l'**implantation** de la culture en mai, il convient de réaliser une fumure de fond couvrant les besoins de la culture. Soit un apport N-P-K de respectivement 60-100-150.
- Au printemps, moment du redémarrage de la végétation il convient d'effectuer un apport de **60 à 80 unités d'azote**, tout comme après chaque coupe :
 - 2 coupe l'année de l'implantation
 - 3 voire 4 coupes sont garanties en année de croisière

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© cdfa.fr

Carence en Azote :

Une carence en azote entraîne une décoloration du feuillage et un ralentissement important du développement végétatif.



© cdfa.fr

Carence en Potassium :

Une carence en potassium provoque l'apparition de taches nécrotiques ainsi qu'une décoloration progressive du feuillage.



© cdfa.fr

Carence en phosphore :

Une carence en phosphore provoque des liaisons nécrotiques violacées sur les feuilles basses de la plante.



© cdfa.fr

Carence en Fer :

Carence généralement induite en lien avec un sol à pH trop élevé. Observation de chloroses inter nervaires

● Autres conseils et informations

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Poireau

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Plein champ	30 t/ha	150	60	170	20

 *mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 30 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Plein champ : 4 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Les apports de fumures organiques doivent être réalisés plusieurs mois avant la plantation : on apportera un fumier bien décomposé de l'ordre de 15 à 20 t/ha.
- Le potassium et le phosphore peuvent être apportés au labour. La potasse peut cependant être fractionnée en culture d'hiver.

En cours de culture

- Réaliser un apport de nitrate de potasse lors du binage (avant buttage) afin de verdir le feuillage (apport à 45 jours après plantation).
- Les apports de couverture seront réalisés de préférence par incorporation au sol associé au binage avec des engrais granulés. En cas d'apport par voie aérienne, privilégier un temps sec pour ne pas brûler le feuillage.
- Les apports sont faits avec de l'ammonitrate ou avec des engrais composés, binaires ou ternaires. Les formulations N-P-K à 15-5-20 ou 16-10-26 sont à privilégier.
- Un apport de sulfate de magnésie à l'approche de la récolte permet de verdir le feuillage.

Fractionnement de l'apport azoté total

- Pour un sol correctement pourvu
 - Au semis/plantation : 30%
 - Au stade 6 feuilles vraies (BBCH 16) : 45 %
 - Au stade 10 feuilles vraies (BBCH 19) : 25 %

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



@ PLANETE LFP



@ PLANETE LFP



@ PLANETE LFP



@ PLANETE LFP

Excès en Azote :

Un excès d'azote peut entraîner plusieurs phénomènes :

- une fragilité de la plante face aux maladies cryptogamiques (grosse bactérienne, alternaria et mildiou)
- une sensibilité au gel sur les créneaux automne-hiver
- un accroissement du volume des feuilles
- une mauvaise conservation après récolte
- une mauvaise coloration de la racine

Carence en Bore:

Le poireau est sensible à la carence en Bore. Un apport peut être réalisé selon le précédent cultural et l'analyse de sol.

Excès en Potassium :

Un excès en K_2O induit une carence en Magnésium (MgO) de par son immobilisation dans le sol. Le MgO devient inutilisable par la plante.

● Autres conseils

- Pour le poireau d'hiver, il ne faut pas apporter d'azote au-delà de mi-septembre afin de ne pas sensibiliser la culture au gel.
- Selon le pH du sol, l'apport d'azote peut être réalisé avec de la cyanamide de chaux (peut avoir un effet désherbant).
- Le poireau montre un bon comportement aux formes d'engrais contenant du soufre.
- Les apports en manganèse, soufre et bore peuvent être comblés par la pulvérisation d'engrais foliaires solubles.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Poivron

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Sous abris vert	40 t/ha	365	110	690	50
Sous abris mature	24 t/ha	470	140	770	60

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 60 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Poivron vert : 9 Kg de N/ha/t
- Poivron mature : 19 Kg de N/ha/t

 **mobilisations = exportations + restitutions**
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond organique ou minérale si nécessaire : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (50 T/ha). Apporter des matières organiques nécessaires pour une bonne structure du sol.
- Afin d'éviter un excès d'azote, enfouir le fumier au moins trois mois avant plantation.

Fertilisation de couverture (au goutte-à-goutte)

- **S'il n'y a pas eu de fumure de fond** (avant la mise en place de la culture)
 - Faire un apport de 15 Kg de N/ha/semaine au cours du premier mois après la plantation avec un équilibre 1-0,8-1,5 (N = 15 ; P₂O₅ = 12 ; K₂O = 22)
- Apports hebdomadaires à **partir de la nouaison des premiers fruits**
 - Faire un apport de 20 Kg de N/ha/semaine avec un équilibre 1-0,8-1,5 (N = 20 ; P₂O₅ = 16 ; K₂O = 30)
- Le **pH de la solution** nutritive doit être de 5,5

Fertirrigation : points clés à respecter (exemple sur un engrais 15-5-30)

- **Calculer la quantité d'engrais** en kg à apporter en multipliant la dose hebdomadaire par la surface cultivée. Par exemple sur 400 m², une dose de 15 g/m² correspond à 6 kg d'engrais pour la totalité de la surface.
- **Appliquer l'engrais chaque semaine en ajustant la dose.** (Voir tableau ci-dessous.)

- **Préparation de la solution nutritive** : Mélanger 25 kg d'engrais dans 200 L d'eau pour obtenir une concentration de 12,5%. Utiliser une pompe doseuse réglée à 1 % pour appliquer la solution diluée sur la culture.
- **Ajuster la quantité de solution à appliquer** : sur 400 m², la quantité varie entre 48 et 64 litres selon les semaines (voir tableau ci-dessous) :

Période	Engrais (en g/m ²)	Engrais pour 400 m ²	Solution à apporter
1er mois de production	15 g/m ²	6 kg	48 L
à partir du début nouaison	20 g/m ²	8 kg	64 L

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture

Carence en Azote :

Un excès d'azote entraîne des défauts de nouaison, des retards d'initiation florale, une sensibilité aux maladies et parasites. Tandis qu'une carence en azote induit un jaunissement des feuilles et un faible développement du plant.



© Ephytia

Carence en Calcium :

Il s'agit généralement d'une carence induite entrainant des lésions humides apparaissant à l'extrémité des fruits. Ces taches brunissent et s'étendent progressivement par la suite.



© IRIS phytoprotection

Carence en Fer :

Jaunissement internervaire débutant à la base des jeunes feuilles et progressant vers l'extrémité des feuilles. Les nervures sont vertes au début puis deviennent jaunes. Dans les stades avancés, une décoloration uniforme, jaune à blanc jaunâtre, de toutes les jeunes feuilles peut être observée. Les feuilles sont petites.



© Yara

Carence en Magnésium :

Jaunissement internervaire sur les feuilles les plus âgées. Cela conduit à une photosynthèse moins active et donc à un rendement et une qualité moindre.

● Autres conseils

- Le poivron est assez exigeant en eau, le sol ne doit jamais sécher complètement afin d'éviter les stress hydriques, la déformation des fruits et les phénomènes de nécroses.
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- Arrêt de la fertilisation 3 semaines avant la fin de la récolte (permet une qualité de conservation).

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Pomme de terre

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Pomme de terre	50 t/ha	220	50	200	15
Pomme de terre primeur	30 t/ha	180	30	135	10



*mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 45 cm en moyenne
Besoin en azote par région et par type de culture :

- consulter la directive Nitrates régionale
- reliquat souvent obligatoire ou recommandé

Besoin en phosphore, potasse selon analyse de sol

● Fractionnement de la fertilisation :

Dans l'interculture

- Fumure de fond organique : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20-30 T/ha), vinasse, digestats, à incorporer après apport
- Fumure P-K : les équilibres P-K des apports à respecter sont de 1-4, forme chlorure en potasse
- Pas de chaulage avant la culture (à faire sur la rotation) pour limiter la gale commune

Avant la plantation

- Si plantation suivie de rebuttage(s), application NPK puis complément N au(x) buttage(s)
- Si plantation avec buttage définitif, application NPK, sous forme sulfate pour la potasse
- Apport au plus près de la plantation pour limiter les pertes par volatilisation de l'azote
- Incorporation nécessaire pour les engrais liquides (azotés), digestats, ou solides type urée

A la plantation

- Si la dose d'N dépasse 150 u/ha, fractionner si possible selon le niveau de reliquat présent (au moins 50 u/ha présent avec le premier apport), deuxième apport au dernier buttage
- Selon l'engrais, possibilité de le localiser sous la raie de plantation
- En cas d'irrigation, 40 u/ha peuvent être mises en réserve pour un apport en végétation

A partir de 30 à 40 jours après la levée ou 5ème feuille en primeur

- Apport de 0 à 40 u/ha en ammo nitrates selon le résultat d'une mesure PILAZO en primeur ou JUBIL en conservation, en plein suivie de 15 mm d'eau dans les 15 jours, sur feuillage sec
- L'outil N Tester est utilisable sur abonnement ou en comparaison d'un témoin sur fertilisé
- L'apport peut être décalé selon le résultat de la mesure sur 3 dates de mesures sur 15 jours
- Des outils d'imagerie issue de capteurs embarqués, de drone ou de satellite sont disponibles
- Le fractionnement en variété sensible à l'alternaria limite la sensibilité de la culture

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© Ephytia

Carence en Azote : culture exigeante

Un manque d'azote entraîne un développement réduit du feuillage, un nombre de tubercules et un rendement limités, un taux de matière sèche plus élevé, une sensibilité à l'alternaria accrue



© Kali.de

Carence en Potassium : culture exigeante

Un manque de potassium entraîne une perte de rendement, une réduction du calibre, un dessèchement prématuré des feuilles, une baisse du taux de matière sèche, une moindre conservation et une sensibilité plus élevée aux chocs et au noircissement interne ou après cuisson



© Kali.de

Carence en Magnésium : culture exigeante

Un manque de magnésium entraîne un dessèchement prématuré des feuilles, une sensibilité plus élevée à l'alternaria, une moindre utilisation de l'azote, une réduction de la photosynthèse



© Kali.de

Excès en Azote : culture sensible

Un excès d'azote entraîne un développement excessif du feuillage facilitant les maladies et les attaques de pucerons, un retard du défanage et de la maturité des tubercules, un excès de nitrates dans les tubercules et le sol

● Autres conseils

- les apports surtout azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- la forme sulfate est à préférer au printemps pour un taux de matière sèche plus élevé
- intervenir dès l'apparition de toute carence (sensibilité au Mn et au Bo) ou défaut de croissance, utiliser des outils de diagnostic foliaire

Une analyse de sol tous les 5 ans et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Radis bout blanc

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Radis plein champ	15 t/ha	25	10	40	5
Radis sous abri	25 t/ha	40	20	65	15

 ***mobilisations = exportations + restitutions***
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : jusqu'à 15 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Radis de PC et SA : 1,6 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- En général les apports sont réalisés avec l'implantation du précédent pour ne pas avoir trop de matière organique fraîche dans le sol, préjudiciable à la qualité de la plante.
- Fumure de fond organique et/ou amendement pour un sol pauvre en éléments minéraux : les éléments peuvent être apportés avec du compost ou fumier composté (20 t/ha). Effectuer l'apport 2 à 4 semaines avant le semis, afin que les nutriments commencent à se minéraliser et soient disponibles pour les plantes.
- Incorporer le compost au sol par un léger travail (griffage ou binage) pour favoriser l'intégration dans la couche arable.

Au semis

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 50% du besoin en azote.
- Pour l'azote, préférer un apport sous forme ammoniacal.

Seconde moitié du cycle cultural (début de tubérisation)

- En absence de fumure de fond, faire un apport correspondant à : 50% du besoin en azote.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© : yara.co.uk

Carence en Fer :

A des pH trop élevés (>8), le risque de carences en fer augmente. On peut ainsi observer un jaunissement internervaire appelé chlorose ferrique.



© : PLFP

Carence en Bore :

Il est également possible à des pH trop élevés (>8), d'avoir un blocage de la croissance des plants, signe d'une carence (induite) en bore. Les racines peuvent devenir rugueuses et se fissurer. Des taches brunes signe de nécroses des racines peuvent être visibles.

Excès en Azote :

Un excès d'azote entraîne un développement excessif du feuillage, une augmentation de la teneur en nitrates dans la racine. De plus, une forte teneur en azote induit un risque élevé d'attaques de mildiou.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage. Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- Il est important d'éviter les successions de cultures de radis et des autres crucifères afin de limiter les attaques de maladies racinaires (*Rhizoctonia solani*, mildiou ...), et de ravageurs se conservant dans le sol (altise, mouche...). Privilégier une durée de rotation d'au moins 3 ans.
- Les restitutions en éléments fertilisants de la culture sont très faibles.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Rhubarbe

● Besoins totaux de la culture :

De la reprise du plant à la fin de la récolte

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Rhubarbe de 3ème année et plus Marché de frais	30 t/ha	94	35	146	20
Rhubarbe de 3ème année et plus Industrie	50 t/ha	156	56	244	33

 *mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter*

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 50 cm
Besoin en azote par t/rdmt : 3,12 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la plantation

- Fumure de fond pouvant être organique ou minérale
- Un apport de 30 à 80 tonnes de fumier est conseillé l'année de la plantation accompagné d'une bonne fumure minérale.
- Un apport de matière organique sera effectué à l'automne et incorporé dans l'entre-rang avec la fumure minérale phosphatée et potassique.

Fertilisation de couverture

- Incorporer à l'automne une fumure riche en P2O5 et K2O.

Durant la phase végétative

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage.
- Un arrosage après un apport permet une meilleure absorption des éléments nutritifs par la plante.

Fractionnement de l'apport azoté total

- L'azote sera rapportée en une ou deux fois au démarrage de la végétation puis après la récolte.
- Pour un sol correctement pourvu et selon la minéralisation du sol :
 - A partir de la 2ème année et les suivantes :
 - A la reprise de la croissance végétative : 50 %
 - après la récolte : 50 %

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© Autour du potager

Carence en Azote :

Une carence en azote provoque un étiolement et une montée à graines.

● Autres conseils

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.





Salade

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Sous abri	40 t/ha	110	130	230	20
Plein champ	60 t/ha	110	60	235	13

⚠ mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 30 cm

Besoin en azote par t/rdmt :

- Plein champ : 2 Kg de N/ha/t
- Sous abri - début d'hiver 3 Kg de N/ha/t
- Sous abri - fin d'hiver : 2 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Pour un sol moyennement pourvu, apporter une fumure à 50 à 60 uP et 200 à 280 uK. Des apport de phosphore et potassium ne sont généralement pas nécessaires sous abri.
- Privilégier la matière organique bien dégradée, apportée à distance de la plantation afin de limiter un excès de salinité en raison de la forte minéralisation et le développement de maladies.

A la plantation

- Un apport d'azote permettant de couvrir les besoins jusqu'au stade 12 feuilles peut être réalisé.

En cours de culture

- A la moitié du cycle, la salade a consommé environ 20% de ses besoins en azote.
- L'azote peut être fractionné en 1 à 2 fois en cours de culture : 15 jours et 1 mois après plantation.
- Le fractionnement de l'azote dépend également du type de sol et peut ne pas être nécessaire.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© source image

Excès d'Azote :

Un excès d'azote peut retarder la pommaison et augmenter la sensibilité aux maladies (*Botrytis*, *Rhizoctonia*). Cela peut également favoriser la vitrescence du pivot et le phénomène de nécrose marginale (Tip burn).



© Gerbeaud.com

Carence en Phosphore :

Les sols froids impactent l'assimilation du phosphore par les plantes. Sous abri, l'apport de phosphore est peu nécessaire car la culture bénéficie des reliquats des précédents.



© source image

Carence en Potassium :

Les besoins sont plus importants en hiver. Le rapport K/N est important pour limiter les nécroses marginales : privilégier un rapport K/N de 4 en hiver et 3 au printemps.



© source image

Carences en Calcium, Bore et Molybdène :

La salade est particulièrement sensible aux carences de ces oligo-éléments. Une carence en Calcium favorise la nécrose marginale (Tip burn). Une carence en Bore est induite par des sols trop basiques, une carence en Molybdène par des sols trop acides.

● Autres conseils

- La salade est une culture à cycle court :
 - En conditions de minéralisation de l'azote, des apports sont généralement peu nécessaires. Éviter les apports d'azote entre le 1er septembre et le 15 octobre.
 - Favoriser les apports d'azote sous une forme directement disponible, en prenant en compte la minéralisation qui a lieu en parallèle.
- Un taux de matière organique élevé (4 à 5%) est recommandé pour la culture, car il lui permettra de mieux supporter des excès de salinité.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.



Tomate

● Besoins totaux de la culture :

Mobilisation (Kg/ha)	Rdmt	Azote N	Phosphore P	Potassium K	Magnésium Mg
Marché de frais Sous abri	200 t/ha	280	130	565	100
Marché de frais Plein champ	60 t/ha	80	30	170	10

 mobilisations = exportations + restitutions
mobilisations ≠ fertilisation à apporter

A prendre en compte pour aller plus loin :

Profondeur enracinement : 40 cm
Besoin en azote par t/rdmt : 2,6 Kg de N/ha/t

● Fractionnement de la fertilisation :

Avant la mise en place de la culture

- Fumure de fond, organique ou minérale. Pour un apport de fumier, une dose de 25 t/ha est recommandé, afin de limiter les excès d'azote.

A la plantation

- Un apport d'engrais starter avec un équilibre 1-1-2 peut être réalisé.
- Bien humidifier les mottes puis laisser assécher pour favoriser la prospection racinaire.

En cours de végétation - fertirrigation sous abri

- Reprise de la fertilisation au 3ème bouquet (15 jours à 3 semaines après plantation) : suivre un équilibre N-P-K de 1-0,6-2 (+ 0,3 de Mg).
- Formule fertilisante recommandée pour l'irrigation au goutte-à-goutte : 18-6-26 (N-P-K ; ajouter du sulfate de magnésium) ou 15-5-30-2 (N-P-K-MgO) ; rapport moyen de 3-1-5 (N-P-K) kg/t de fruit récoltée.
- Se baser sur un apport hebdomadaire de 20 à 25 uN/semaine.
- Entre la formation du 6ème et du 8ème bouquet : il est fréquent d'observer un éclaircissement des têtes (carence en fer). Apporter un complément : 5 kg/ha de fer EDDHA 6% au goutte à goutte.
- Arrêter la fertilisation 2 semaines avant la fin de la récolte.

● Les carences et les excès à surveiller sur la culture



© Yara

Carence et excès en Azote :

Une carence en azote entraîne une réduction de la croissance.

Un excès d'azote va entraîner une végétation excessive, retarder la production et peut générer la production de fruits creux. Combinée à une carence en phosphore et potassium, des défauts de coloration peuvent apparaître.



© Yara

Carence en Phosphore :

Une carence en phosphore entraîne une perte de précocité (enracinement), et l'apparition de colorations violacées sur le feuillage.



© D. BLANCARD - INRAE

Carence en Magnésium :

Fréquente sur les feuilles les plus âgées et en fin de cycle. Elle peut être favorisée par une asphyxie racinaire ou un manque d'eau.



© source image

Carence en Calcium :

Le Calcium est un élément important pour les fruits. En cas de carence (vraie ou induite), le phénomène de nécrose apicale (cul noir) ou en impactant le système racinaire. Des apports de calcium en cours de culture et le fractionnement de l'irrigation en période chaude permet de limiter le phénomène.

● Autres conseils

- Les apports azotés se font sur feuillage sec (permet d'éviter de brûler le feuillage) ou en incorporation au sol associé à un binage
- Arroser après un apport pour permettre l'absorption des éléments nutritifs par la plante
- Les tomates greffées impose une restriction des apports d'eau et de minéraux.

Une analyse de sol et une mesure des reliquats azotés annuelle sont nécessaires pour déterminer le programme de fertilisation le plus adapté.

Notes

[illegible]



En savoir plus
sur les travaux du programme
Air Climat Sol Energie



Pour l'agriculture de demain

Avec le soutien de :

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR
Liberté
Égalité
Fraternité

**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT**
Liberté
Égalité
Fraternité

