



INSTITUT TECHNIQUE DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

* * * *

Commission Technique Grandes Cultures

* *

Groupe Fertilisation Azotée des Céréales

*

**FERTILISATION AZOTEE DES CEREALES D'HIVER
CONDUITES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE**

**Evaluation des effets directs d'un apport d'azote
au printemps sur un blé tendre d'hiver**

Protocole d'essai

**OBJECTIFS
OBSERVATIONS
MESURES**



Janvier 2001 - Première version

PROTOCOLE DE SUIVI D'ESSAIS

FERTILISATION AZOTEE DES CEREALES D'HIVER CONDUITES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Evaluation des effets directs d'un apport d'azote au printemps sur un blé tendre d'hiver

AVANT-PROPOS

Ce dossier a pour but de **préciser les objectifs et raisonnements** poursuivis relativement à l'approche azote au printemps en céréales d'hiver en conduite biologique, ici le blé, et de **lister les observations et mesures à réaliser** sur les essais.

Il est issu des travaux de la commission technique grandes cultures de l'ITAB (groupe fertilisation azotée). Il a pour objectif **d'harmoniser les observations et mesures** réalisées par les différents organismes réalisant ces essais et de **faciliter ainsi l'analyse de chaque essai et la mise en commun des résultats**.

Ce document propose une méthodologie de mise en place du dispositif : témoins adjacents, épandage à la main, récolte petite moissonneuse-batteuse ou machine agriculteur, taille des parcelles,... Un certain nombre d'éléments de méthodologie sont rappelés dans les annexes.

Le recueil des données (enquête parcellaire et tableaux de résultats) est présenté dans un document annexe (à paraître).

Nous invitons les lecteurs et utilisateurs à ne pas hésiter à nous faire-part de leurs remarques qui permettront d'améliorer les prochaines versions.

Groupe Fertilisation Azotée - Commission Grandes Cultures ITAB

Remerciements

Ils sont destinés aux membres du Groupe Fertilisation Azotée et plus particulièrement aux personnes suivantes ayant activement participé à la rédaction du présent document :

Claude AUBERT (CA 77 - GAB Région Ile de France), Jean-Marie BODET, Yves CHABANEL, Philippe VIAUX (ITCF), Christophe DAVID (ISARA), Olivier DURANT (CA 26), Emmanuel DESILLES (GRAB HN), Laurence FONTAINE (ITAB).

Version 26/01/01

SOMMAIRE

1 – CONTEXTE	Pages
1.1 Variabilité des effets directs des engrais organiques utilisés en AB	p.4
1.2 La problématique de la fertilisation azotée des céréales au printemps	p.6
2 – OBJECTIFS ET QUESTIONS POSEES	p.7
2.1 Objectifs généraux	p.7
2.2 Questions posées	p.7
3 – ESSAIS AU CHAMP	p.9
3.1 Choix des parcelles expérimentales	p.9
3.2 Choix de la variété de blé d’hiver	p.9
3.3 Choix de l’engrais organique à appliquer	p.9
3.4 Date d’apport et quantités apportées	p.10
3.5 Plan de l’essai	p.10
4 – OBSERVATIONS ET MESURES	p.12
4.1 Caractérisation de la situation culturale	p.12
4.2 Caractérisation du produit épandu	p.13
4.3 Observations sur la conduite et l’évolution de la culture	p.13
4.4 Observations en vue de l’identification de facteurs limitants affectant la nutrition azotée de la plante	p.14
4.5 Observations sur les effets azote des produits testés	p.15
5 – SIMULATIONS (facultatif)	p.17
6 – SYNTHÈSE/DIFFUSION DES RESULTATS	p.19
ANNEXES	p.20

1 – CONTEXTE

Ce chapitre consiste en des rappels préalables afin de resituer le contexte d'application du protocole¹.

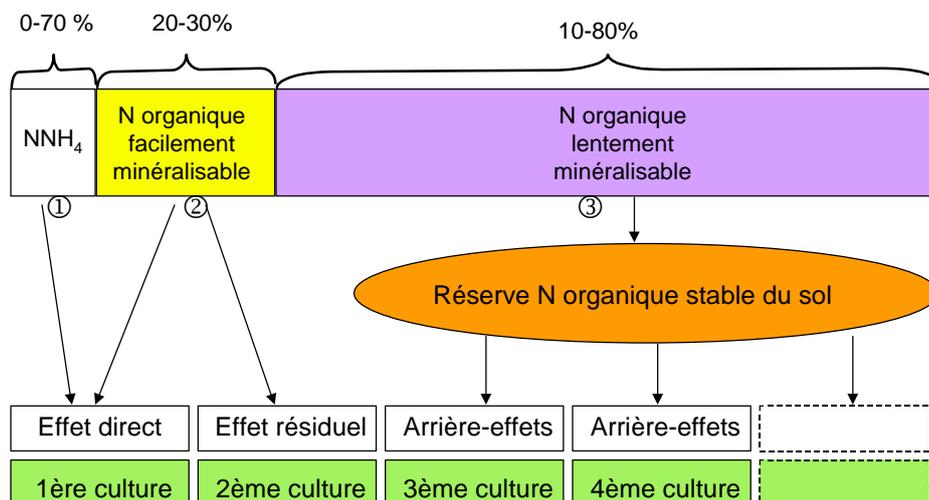
1.1 Variabilité des effets directs des engrais organiques utilisés en AB

Contrairement à d'autres éléments tels que le potassium, le magnésium, ..., la connaissance de la teneur en azote total des engrais organiques utilisés en Agriculture Biologique, applicables sur blé d'hiver, ne suffit pas pour évaluer leur valeur fertilisante azote.

En effet, l'azote d'un engrais organique se présente sous des formes :

- ammoniacales (NH_3 et NH_4^+ dissous dans l'eau de l'engrais organique, NH_4^+ adsorbé sur les solides),
- organiques rapidement minéralisables,
- organiques lentement minéralisables,

Figure 1 – Les formes de l'azote dans les engrais organiques (cas des engrais de ferme)



D'après JM. BODET, décembre 2000.

① **L'azote ammoniacal** de l'engrais organique appliqué sur un blé d'hiver est entièrement disponible pour la culture, sauf s'il y a volatilisation sous forme d'ammoniac lors de l'épandage ou lixiviation par les eaux de drainage après transformation des ions NH_4^+ en NO_3^- (nitrification).

② Une bonne partie, voire la totalité de **l'azote organique rapidement minéralisable** de l'engrais organique appliqué sur un blé d'hiver est disponible pour la culture. Cette disponibilité dépend de l'évolution des conditions de minéralisation des matières organiques dans le sol entre l'épandage de l'engrais et la fin de la période d'absorption d'azote par le blé d'hiver (stade grains pâteux). Elle peut donc être très variable d'un sol à un autre et d'une année à l'autre pour un même sol.

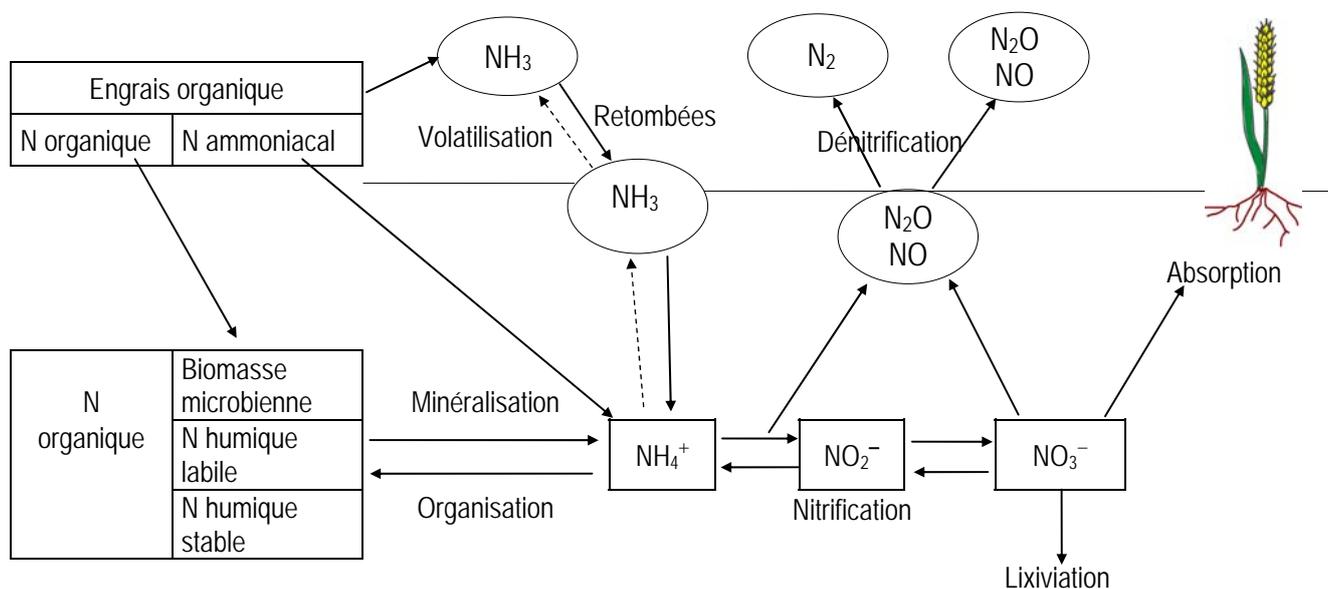
③ **L'azote organique lentement minéralisable** rejoint le compartiment des matières organiques à minéralisation lente du sol. En cas d'apports importants et répétés d'engrais contenant une proportion notable de matières organiques lentement dégradables (comme les

¹ Quelques éléments complémentaires sont donnés en annexe 12 à la fin de ce document.

fumiers de bovins ou composts), il y a augmentation du stock d'azote organique total du sol et, par conséquent, de la quantité d'azote minéral fourni chaque année par la décomposition des matières organiques du sol.

Cette description des différentes formes de l'azote contenu dans les engrais organiques est générale. **Il convient de préciser que ce protocole concerne des engrais organiques à minéralisation rapide** tels que la farine de plume hydrolysée, les vinasses de betteraves ou le guano ; **pour ces produits, la part d'azote organique lentement minéralisable est très réduite** (autrement dit, la partie droite de la figure 1 serait donc à largement diminuer).

Figure 2 – Devenir de l'azote contenu dans un engrais organique apporté sur un blé d'hiver



D'après P. CELLIER, J.C. GERMON, C. HENAULT, S. GENERMONT, INRA, Reims, Novembre 1996.

Conclusion

L'effet direct azote d'un engrais organique donné sur un blé d'hiver peut donc **varier considérablement d'un site à un autre** et pour un même site **d'une année à l'autre**.

Actuellement, on dispose de peu de références en Agriculture Biologique qui prennent en compte l'incidence de situations culturales sur les effets directs azote des engrais organiques.

Or de telles références sont nécessaires afin **de valoriser au maximum l'azote** contenu dans les engrais organiques utilisés en Agriculture Biologique et **d'éviter la lixiviation des nitrates**, que leur application soit avant les semis du blé d'hiver ou au redémarrage de la végétation.

1.2 La problématique de la fertilisation azotée des céréales au printemps en Agriculture Biologique

Dans le cadre de ce protocole d'essai, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'acquisition de références dans le cas d'apports azotés sur blé d'hiver au redémarrage de la végétation, soit au printemps.

Il est important de rappeler qu'à cette période, il n'est pas possible de compter sur la minéralisation des matières organiques stables du sol pour satisfaire les besoins précoces en azote du blé. En conséquence, il est nécessaire d'appliquer, avant le stade épi 1 cm, des engrais organiques contenant une proportion notable d'azote minéral (ammoniacal ou uréique), ou organique rapidement minéralisable, pour assurer une nutrition azotée correcte du blé d'hiver. Les produits tels que le guano, la vinasse de betterave ou la farine de plume hydrolysée entrent dans cette catégorie.

Etant donné la variabilité, comme on l'a expliqué plus haut, des effets directs azote de ces produits apportés au printemps, on peut s'interroger sur les conséquences en terme de rendement au moment de la récolte du blé d'hiver (la notion de qualité pourrait de même être citée) :

- soit l'effet est nul, en conséquence l'apport n'était pas nécessaire,
- soit quelques quintaux sont gagnés ; au mieux le gain dû aux quintaux supplémentaires rembourse le surcoût lié à l'apport d'engrais ; la prise de risque est donc importante pour l'agriculteur,
- soit le rendement est nettement amélioré grâce à une bonne valorisation de l'azote, ce qui justifie l'apport effectué.

Autrement dit, la question qui se pose est de savoir, en fonction **d'une situation culturelle donnée** (sol, précédent, système de culture, ...) et **de l'année climatique constatée**, **si l'apport d'azote sur blé au printemps est justifié ou non.**

L'objet de ce protocole est de fournir des éléments d'aide à la décision pour répondre à cette question.

2.1 Objectifs généraux

Comme nous l'avons vu, l'objectif de cette étude est d'acquérir des références sur les effets directs azote des principaux engrais organiques utilisés en Agriculture Biologique au printemps sur un blé tendre d'hiver, afin d'améliorer l'aide à la décision en matière de fertilisation azotée :

- dans des situations culturales données,
- pour des années climatiques données.

Pour cela, l'expérimentateur s'attachera en premier lieu à définir, à dire d'experts, **les situations culturales les plus fréquentes dans sa région** (en terme de sol, de précédent(s) du blé, de pratiques de fertilisation -exemple : apports répétés ou non de fumier ou compost-).

2.2 Questions posées

Dans une situation culturale donnée, l'effet direct de l'engrais organique appliqué sur blé d'hiver est égal à :

$$\begin{aligned} & \text{Azote } \mathbf{minéral} \text{ de l'engrais} \\ & \quad + \\ & \text{azote organique } \mathbf{minéralisé} \text{ entre le moment de l'épandage} \\ & \quad \text{et la fin de la période d'absorption de l'azote} \\ & \quad - \\ & \text{azote } \mathbf{volatilisé} \text{ après l'épandage} \\ & \quad - \\ & \text{azote } \mathbf{lixivié} \text{ en provenance de l'engrais} \end{aligned}$$

Globalement, cet effet direct peut être apprécié à travers le coefficient apparent d'utilisation de l'azote total de l'engrais organique (CAUorg), donné par l'équation suivante :

$$\text{CAUorg} = \frac{\text{N absorbé par la culture recevant l'engrais organique} - \text{N absorbé par la culture sans engrais}}{\text{N total apporté par l'engrais organique}}$$

Ce coefficient peut être utilisé pour calculer les quantités d'engrais organiques à apporter au printemps, avec l'équation du bilan de masse qui se présente sous la forme suivante :

$$b*Y + \text{RPR} = \text{RSH} + \text{MINsol} + \text{MINres} + \text{CAU} * \text{Xorg}$$

avec : Y = objectif de rendement en quintaux de grains/ha,

b = besoin en azote en kg par quintal de grains produit : à préciser, car souvent plus faible en rendements bio,

RPR = reliquat d'azote minéral dans le sol à la récolte (en kg de N/ha),

RSH = reliquat d'azote minéral dans le sol à la sortie de l'hiver (en kg de N/ha),

MINsol = fournitures d'azote par minéralisation des matières organiques stables du sol (en kg de N/ha),

MINres = fourniture d'azote par minéralisation des résidus laissés par le précédent (en kg de N/ha),

Xorg = azote total de l'engrais organique apporté sur le blé (en kg de N/ha),

CAU = coefficient apparent d'utilisation de l'azote total de l'engrais organique.

Afin d'évaluer les effets directs azote, les questions suivantes peuvent être posées par type d'engrais et par situation :

1 – Quelles sont les quantités d'azote minéral et organique apportées par l'engrais étudié ?

La réalisation d'échantillons représentatifs du produit étudié et d'analyses classiques permet de répondre à cette première question (§ 4.2).

2 – Quelle est la valeur du coefficient apparent d'utilisation de l'engrais étudié dans les conditions du champ ?

La réponse à cette seconde question est assurée au travers des essais au champ visés par ce protocole (§ 4).

3 – Quelle est la variabilité de l'effet direct azote de l'engrais organique appliqué sur blé d'hiver en l'absence de volatilisation d'ammoniac ?

La réponse à cette troisième question s'appuie sur des simulations permettant de calculer :
1°/ l'azote organique de l'engrais étudié, minéralisé entre l'épandage et la fin de la période d'absorption de l'azote par le blé d'hiver,
2°/ l'azote minéral issu de l'engrais étudié, lixivié pendant cette période.

Cette troisième phase reste pour l'instant facultative, en raison de son caractère novateur. Elle est néanmoins intégrée dans ce protocole pour les expérimentateurs qui souhaiteraient dès à présent effectuer ces simulations (§ 5).

Afin de cadrer la mise en œuvre de ce protocole, nous avons défini une série de conditions visant à rendre comparables les essais entre eux. Le respect de ces conditions permettra d'établir une synthèse des résultats au niveau national et l'acquisition progressive de références. Elles portent sur le choix des variétés à implanter, des engrais et des doses à tester.

3.1 Choix des parcelles expérimentales

- Au préalable, **il convient d'identifier, à dire d'experts, les situations culturelles** qui dominant dans l'aire géographique considérée² : sol * climat d'une part, système de cultures d'autre part.

Les parcelles où seront menés les essais seront choisies de façon à correspondre à l'une de ces situations culturelles.

- Evidemment, les parcelles seront également choisies le plus homogène possible, avec **un minimum de présence de facteurs extérieurs tels que adventices ou maladies**.

3.2 Choix de la variété de blé d'hiver

Par souci d'harmonisation des expérimentations et pour s'affranchir de l'effet variété, **RENAN** est préconisée. A défaut, SOISSONS ou CAMP REMY peuvent être utilisées.

3.3 Choix de l'engrais organique à appliquer

Pour la première année de mise en œuvre du protocole, les engrais à minéralisation rapide les plus utilisés en bio sont retenus.

Par souci d'harmonisation des expérimentations, les trois principaux engrais organiques utilisés pour la fertilisation des céréales conduites en Agriculture Biologique sont proposés (cette liste pourra être révisée à l'issue de la campagne d'expérimentation) :

- la **farine de plume hydrolysée** (au minimum 80% de la formulation), recommandée sous forme de **bouchon**
- la **vinasse de betterave**, non ammoniacale, sous forme **liquide**
- le **guano du Chili**, sous forme de **granulé**

En fonction de la disponibilité des produits et du temps des expérimentateurs, **au moins un des trois produits doit être testé. La mise en place d'un essai avec un produit donné suffit.** Il est évidemment possible de multiplier les essais pour tester les deux autres produits.

La caractérisation des produits épandus figure au point 4.2.

² A noter qu'il peut être intéressant d'étudier également des situations avec un bon potentiel de minéralisation d'azote (précédent légumineuse, ou apport fréquent de fumier, ..), afin d'établir s'il y a ou non un effet direct azote de l'apport de printemps.

3.4 Date d'apport et quantités apportées

Le produit, ou les produits choisis, seront épandus :

- à la même date,
- **en un seul apport,**
- **un mois avant la date supposée du stade épi 1 cm**, soit en gros entre le 15 février et le 15 mars (on cherche ainsi à cibler la période optimale des besoins azotés du blé).

Trois modalités seront appliquées (azote total) :
- 0 U (témoin zéro)
- 40 U/ha
- 80 U/ha

Dans un souci d'homogénéité de l'apport du produit, **l'épandage à la main est à privilégier** dans le dispositif.

Variante

Le protocole ne recommande qu'un seul apport. Néanmoins, si l'expérimentateur le souhaite, une modalité de fractionnement peut être ajoutée à cette base, en supplément :

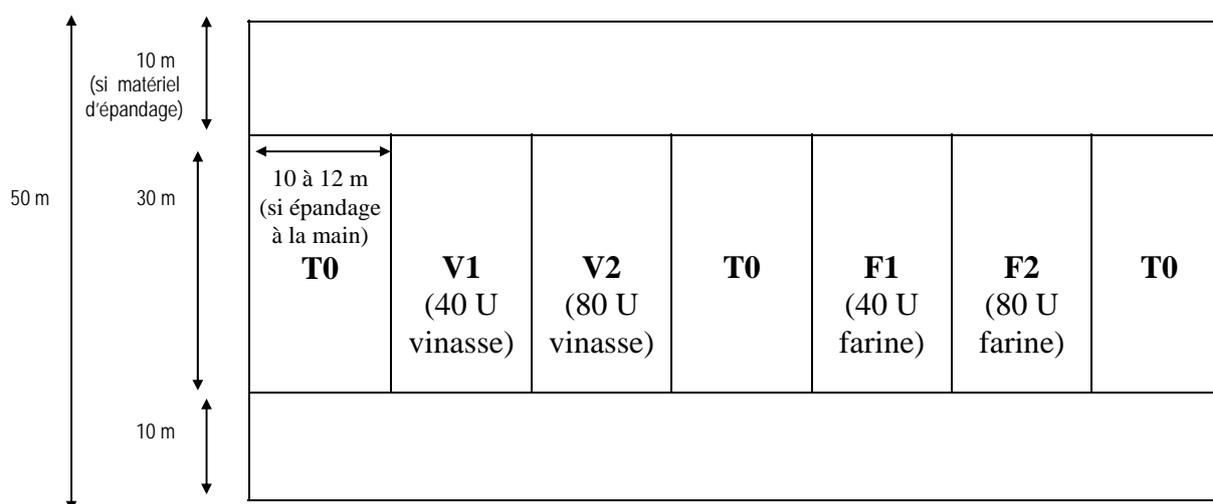
- apport de 40 U/ha (azote total) environ 1 mois avant le stade épi 1 cm
- + 40 U/ha au stade sortie dernière feuille (SDF), ou jusqu'à la floraison en cas d'irrigation.

3.5 Plan de l'essai

L'expérimentation est annuelle. Le dispositif retenu est un comportement avec témoins adjacents sans répétition (voir figure 3).

Figure 3 – Exemple de plan d'un essai pour deux produits différents

(NB : le test d'un produit suffit)



Préconisations

Les parcelles élémentaires doivent avoir une surface suffisante pour :

- effectuer l'ensemble des mesures plantes et sol,
- garantir l'obtention d'une répartition homogène des engrais organiques,
- pouvoir récolter avec la moissonneuse-batteuse de l'agriculteur.

Pour cela, les dimensions des parcelles élémentaires sont les suivantes :

- **10 à 12 m x 30 m pour les témoins zéro.**

- **10 à 12 m x 30 m pour les traitements avec épandage à la main.**
Néanmoins, en cas de récolte avec une petite moissonneuse-batteuse d'expérimentation (largeur de coupe : 1,50-1,60 m), la largeur d'épandage à la main peut être ramenée à **3-4 m de large, sur une longueur plus courte (10 m est un minimum)** ; ces dimensions doivent permettre d'effectuer les pesées et les différentes mesures plus ou moins destructrices des plantes et du sol.
- **20 à 24 m * 30 m pour les traitements avec épandage à la machine.**
Dans ce cas, le produit est apporté en deux passages contigus d'un épandeur espacé de la largeur de travail utile (6 m ou plus) et seul le milieu de la parcelle est utilisé pour les mesures³.
Deux allées de 10 mètres de large sont alors nécessaires de part et d'autre des parcelles (cf figure) pour pouvoir circuler avec le matériel d'épandage, avoir un accès facile à l'essai et permettre aux matériels d'atteindre la vitesse d'avancement retenue.

L'annexe 2 donne un exemple de positionnement des zones d'observation et de mesures à l'intérieur d'une parcelle élémentaire.

Les préconisations, en résumé...

Parcelle :

- situation culturale représentative
- maximum d'homogénéité ; minimum de facteurs extérieurs (adventices, maladies)

Variété : RENAN, à défaut SOISSONS ou CAMP-REMY

Engrais (à caractériser) :

- farine de plume hydrolysée (au minimum 80% de la formulation) / bouchon
- ou - vinasse de betterave, non ammoniacale / liquide
- ou - guano du Chili / granulé

Apports :

- 1 apport environ 1 mois avant le stade épi 1 cm, soit entre le 15/02 et le 15/03
- 3 modalités : 0 U, 40 U, 80 U (azote total)

Schéma expérimental : parcelles élémentaires (30m * 10-12 m) avec témoins zéro adjacents.

³ Afin d'évaluer la quantité effectivement apportée et les écarts possibles, nous recommandons le bâchage (1 m²) d'une partie de la zone d'expérimentation, répété trois fois ; la quantité moyenne épandue peut alors être évaluée en pesant l'échantillon collecté.

Les renseignements cultureux, les observations, les mesures permettent d'acquérir un ensemble d'éléments d'information sur l'exploitation et les pratiques appliquées. Un document intitulé « Recueil de données », en cours de rédaction, sera diffusé par l'ITAB dès que possible afin de les enregistrer.

Les méthodes de mesures et d'observation sont généralement précisées en annexe. Un **résumé des mesures et observations à effectuer** est présenté en annexe 1.

4.1 Caractérisation de la situation culturelle

L'objectif est d'avoir un minimum de description de la situation et de l'histoire culturelles de la parcelle, afin d'avoir une idée de l'état structural du sol et du potentiel de fourniture d'azote issu du sol.

• **Situation géographique :**

- « Régions » (facultatif) : région climatique, lieu-dit, petite région agricole, bassin de production ITCF, etc ... (NB : la climatologie est abordée en 4.4)
- « Coordonnées » (facultatif) : altitude, latitude, longitude (en degrés, en grades et en notation Lambert).
- Accès à la parcelle sur un fond de carte IGN au 1/25000ème (facultatif).

Au minimum : il est difficile de définir un minimum à décrire ; renseigner au mieux ces éléments.

• **Sol :**

- Matériau parental ou roche mère (facultatif).
- Dénomination pédologique sommaire, nom vernaculaire, épaisseur (en cm), drainage, irrigation, pente, exposition, pierrosité, structure, (densité apparente), hydromorphie, ressuyage, battance, (activités biologiques),, voire profil sommaire (facultatif).
- Analyse physico-chimique de la couche arable : granulométrie (avec et sans décalcification pour les sols calcaires), CaCO₃ total, pH KCl, pH eau, CEC, MO, C total, N total, C/N, P₂O₅ Olsen, K₂O, MgO, CaO et Na₂O, voire Mn en sol à tendance hydromorphe.

Au minimum : l'analyse physico-chimique est indispensable. Pour les autres éléments, les renseigner au mieux.

• **Histoire culturelle de la parcelle :**

- Système de cultures dominant sur cette parcelle depuis au moins 5 ans : par exemple, est-elle en céréaliculture stricte depuis des dizaines d'années, ou en élevage avec prairie temporaire fréquente, ou/et avec apports de fumiers ?
- Sur les 3 à 5 dernières années : cultures, rendements, types d'amendements et/ou fertilisants avec quantités et dates d'apport, devenir des pailles.

4.2 Caractérisation du produit épandu

Les produits choisis devront être analysés au moins un mois avant la mise en place de l'expérimentation, délais nécessaires pour l'obtention des résultats⁴.

La taille des échantillons est de 2 l pour les produits liquides et de 2 kg pour les produits solides. Ces échantillons sont congelés avant d'être envoyés au laboratoire d'analyse.

Au minimum : les données à acquérir sont les teneurs en N total, NH_4^+ , N organique (NO_3^-), le rapport C/N, et si possible P_2O_5 total, K_2O total.

Plus largement, l'analyse peut porter sur les déterminations suivantes : MS, MO, pH, C total, N total, NH_4^+ , NO_3^- , SO_3 total, P_2O_5 total, K_2O total, CaO total, MgO total, Na_2O total, Cu, Zn, Cd.

A noter qu'il peut également être intéressant de se renseigner sur la composition en produits d'origine auprès du fabricant.

4.3 Observations sur la conduite et l'évolution de la culture

Ces observations doivent permettre **d'apprécier** et **d'expliquer** les éventuels facteurs limitants affectant la nutrition azotée de la culture de blé.

- **Opérations culturales** : noter les dates et le matériel utilisé ; donner une appréciation de la réussite de l'opération effectuée.

Il s'agit d'enregistrer un minimum d'informations sur l'itinéraire technique de la culture biologique du blé d'hiver, en vue d'évaluer les éventuels effets de cet itinéraire technique sur le profil cultural (lequel influence la minéralisation des matières organiques et l'accessibilité des éléments minéraux issus de ces matières organiques pour les racines du blé d'hiver).

- **Dates de réalisation des principaux stades** : leur détermination reste facultative (aide à la détermination en annexe 3). Elle est *recommandée* si l'on constate que la culture ne se développe pas correctement.

Au minimum, une **visite de surveillance** s'impose à chacun de ces stades afin de vérifier l'état de la culture :

- à la levée,
- au début du tallage,
- au stade épi à 1 cm,
- à l'épiaison,
- à la floraison,
- à la maturité.

On notera à chacune de ces visites si une **différence visuelle** est constatée entre les traitements (jaunissement, éclaircissement, etc).

⁴ Etant donné la date de 1e parution de ce document, faire au mieux pour la campagne 2000/2001.

- **Densité de peuplement** : à la levée et en sortie d'hiver. Ces mesures sont *facultatives* ; elles sont *recommandées* si l'on constate lors des visites de surveillance que les peuplements sont anormalement bas (éléments méthodologiques en annexe 4).

4.4 Observations en vue de l'identification de facteurs limitants affectant la nutrition azotée de la plante

Ces observations visent à **identifier** les éventuels facteurs limitants qui sont explicatifs des résultats : mauvais fonctionnement physique de la parcelle, conditions climatiques défavorables, enherbement, présence de ravageurs ou de maladies. De plus, l'évaluation de ces facteurs facilite la comparaison entre essais.

- **Profil cultural (fonctionnement physique de la parcelle)**

La réalisation d'un profil cultural vise à juger du bon fonctionnement physique de la parcelle (possibilité de minéralisation des matières organiques, accessibilité des éléments minéraux pour les racines du blé) : présence d'accident végétatif, asphyxie, zone compactée, circulation de l'eau, ...

Le recours systématique à un profil cultural complet, bien qu'intéressant, n'est pas obligatoire (indications sur sa réalisation en annexe 5).

Au minimum : un « **profil simplifié** » doit être fait si un mauvais développement de la culture est constaté, par la réalisation d'observations rapides dans quelques parcelles élémentaires afin de juger de l'état du sol (au lieu de creuser des petites tranchées, on donne « quelques coups de bêches »).

- **Conditions climatiques**

Les données météorologiques permettent d'évaluer les effets du climat de l'année sur la culture du blé d'hiver (données de l'année en cours : évaluer les dates d'apparition des stades et les périodes de stress) et de positionner la campagne culturale par rapport aux autres campagnes (les données journalières des trente années précédentes sont nécessaires pour le chapitre 5, lui-même facultatif).

Les variables utilisées sont la pluviométrie, l'ETP, les températures mini et maxi.

On pourra se baser sur les bilans climatiques réalisés chaque année régionalement par l'ITCF, qui paraissent dès le mois d'août-septembre dans les documents « Choisir ses variétés et traitements d'automne » (se renseigner auprès du bureau régional le plus proche). Dans les situations où un stress hydrique précoce est soupçonné, on réalisera un bilan hydrique **a posteriori** à partir des données recueillies sur un poste climatique proche de la parcelle.

Au minimum : on cherchera à évaluer si la culture a subi un stress hydrique, ou des risques végétatifs liés à des températures extrêmes (échaudage, gel de l'épi,...).

- **Enherbement**

On cherche à estimer un niveau global d'enherbement de l'essai, afin d'évaluer la concurrence par les adventices en matière de nutrition azotée (se rapporter à l'annexe 6).

- **Maladies, ravageurs**

On peut se rapporter aux indications données dans le document ITAB « protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique » (reproduit en annexe 7 et 8).

4.5 Observations sur les effets azote des produits testés

Ces observations permettent de calculer :

- le coefficient apparent d'utilisation de l'azote total du ou des produits étudiés,
- l'accroissement de minéralisation nette de l'azote organique entre le début du printemps et la récolte,
- les effets des produits appliqués sur le rendement, les composantes du rendement et la qualité des grains récoltés.

• Absorption d'azote dans les parties aériennes

1) Production de matière sèche des parties aériennes (indications méthodologiques en annexe 9) :

- au stade épi 1 cm
- à la floraison
- à la récolte (faire une analyse séparée pailles / grains)

2) Teneur en azote des parties aériennes (indications méthodologiques en annexe 10) :

- au stade épi 1 cm
- à la floraison
- à la récolte (faire une analyse séparée pailles / grains)

Le calcul de l'azote total absorbé est expliqué à la suite de l'annexe 10.

Rappel sur le calcul du Coefficient Apparent d'Utilisation de l'azote total de l'engrais :

$$CAU_{org} = \frac{N \text{ absorbé par la culture recevant l'engrais organique} - N \text{ absorbé par la culture sans engrais}}{N \text{ total apporté par l'engrais organique}}$$

• Suivi de l'azote du sol

Les mesures de reliquats azotés dans le sol apportent des informations sur la richesse en azote minéral du sol, utiles pour l'interprétation des résultats ; elles permettent l'application de l'équation du bilan de masse et facilitent les conseils à formuler aux agriculteurs.

Mesure de reliquats azotés :

- à l'entrée de l'hiver (REH) ; mesure *facultative*, dont le résultat est intéressant d'un point de vue environnemental (évaluer les pertes automnales par lessivage) ;
- en sortie hiver et avant apport (RSH) ; mesure *indispensable* (utilisation : pour effectuer un bilan azote) ;
- après récolte (RPR), mesure *recommandée* si le sol est profond (utilisation : pour effectuer un bilan azote).

• Composantes du rendement (indications méthodologiques en annexe 11)

A la récolte : mesure du nombre d'épis/m² ; mesure *facultative* (recommandée si on constate un niveau anormalement bas, voire dès le stade épiaison).

Au minimum : mesure à la récolte du PMG (poids mille grains) et du rendement machine ; calcul du nombre de grains/m².

- **Qualité** : à la récolte, teneur en protéines, voire Zélény si fait par test à part.

5 – SIMULATIONS (facultatif)

Il s'agit d'appliquer la méthodologie proposée par J.M. BODET (ITCF) dans un document intitulé « Evaluation des effets directs azote des engrais de ferme applicables sur un blé d'hiver », dont le chapitre « Simulations » est reproduit ci-après (NB : il a été élaboré pour des engrais de ferme ; la démarche est évidemment transposable aux engrais organiques en général).

« 5.1 – Démarche générale

La démarche générale consiste à évaluer le coefficient apparent d'utilisation de l'azote total d'un engrais organique utilisable sur blé d'hiver dans une même situation de sol, de précédent et d'itinéraire technique année après année pendant 30 ans.

Le coefficient apparent d'utilisation de l'azote total de l'engrais organique (CAUorg) est calculé au cours de chaque campagne avec l'équation suivante :

$$\text{CAUorg} = \frac{\text{Effet direct de l'azote de l'engrais organique}}{\text{Azote total de l'engrais organique}}$$

L'effet direct est calculé en considérant que la volatilisation est nulle. Il est donc égal à :

Azote minéral de l'engrais organique
+
Azote organique de l'engrais organique minéralisé entre l'épandage et la fin de la période d'absorption de l'azote par le blé d'hiver
-
Azote lixivié en provenance de l'engrais organique

5.2 – Milieux retenus pour les simulations

Les sols et les précédents du blé d'hiver sont ceux des essais.

Le climat est celui de stations météorologiques proches des essais et comportant une trentaine d'années d'enregistrements journaliers de la pluviométrie, des températures et de l'ETP.

Par convention, le blé d'hiver est toujours semé avec la même variété, à la même date et en excellente condition.

De même, chaque engrais utilisé a toujours la même composition, est appliqué, dans la mesure du possible, à peu près à la même date – au même stade –, dans les mêmes conditions de climat et de sol, et en très bonnes conditions de portance du sol.

5.3 – Observations

5.3.1 – Teneurs en azote minéral et en azote total des engrais organique

Voir partie 4.2.

5.3.2 – Minéralisation potentielle de l'azote organique des produits étudiés

Elle est appréciée à travers des tests d'incubation en conditions contrôlées, effectués en laboratoire avec le sol de chaque essai sur chacun des produits organiques étudiés. Rappelons que ces tests durent trois à quatre mois et sont réalisés à une température de 28°C.

Compte tenu du caractère nouveau de ces tests et de leur utilisation dans le cadre d'une démarche d'acquisition de références, il est préférable de les faire réaliser dans la cellule INRA-CNRS d'Application en Ecologie de Dijon qui a été spécialement conçue pour ce genre d'étude.

L'adresse de ce laboratoire est la suivante : Cellule d'Application en Ecologie – 6, boulevard Gabriel – 21000 Dijon – Tel : 03 80 39 62 25 – Fax : 03 80 39 63 36. Correspondant : C. CHAUVIN.

5.3.3 – Données météorologiques utilisées

Il s'agit des données journalières de pluie, de températures et d'ETP enregistrées pendant 30 ans sur des stations météorologiques proches des essais.

5.4 – Simulation de l'azote organique de l'engrais minéralisé entre l'épandage et la récolte du blé d'hiver

Elle comporte trois étapes :

- détermination de la date d'apparition du stade épi à 1 cm et de celle de la récolte du blé d'hiver,
- calcul du nombre de jours normalisés pour la minéralisation à 28°C entre l'épandage de l'engrais organique et le stade épi à 1 cm, le stade épi à 1 cm et la récolte du blé d'hiver,
- calcul de la quantité d'azote organique de l'engrais minéralisé entre l'épandage de l'engrais organique et le stade épi à 1 cm, le stade épi à 1 cm et la récolte du blé d'hiver.

5.5 – Simulation de l'azote de l'engrais organique lixivié entre l'épandage de l'engrais et la récolte

Elle comporte deux étapes :

- identification de la date d'apparition du stade épi à 1 cm,
- calcul des quantités d'azote lixiviées entre l'épandage de l'engrais organique et le stade épi à 1 cm, le stade épi à 1 cm et la récolte du blé d'hiver.

Ces calculs sont effectués avec Lixim en considérant que le stock d'azote minéral du sol au moment de l'épandage de l'engrais organique est égal à l'azote minéral de l'engrais organique et que les quantités d'azote organique de l'engrais minéralisé pendant les deux périodes épandage et stade épi à 1 cm, stade épi à 1 cm et récolte du blé d'hiver, sont celles calculées en 5.4. »

6 – SYNTHÈSE/DIFFUSION DES RESULTATS

Un compte rendu annuel est rédigé chaque année et par essai par le responsable de l'essai selon un plan détaillé à convenir à l'avance avec l'ITAB et ses partenaires régionaux (Centres Techniques Régionaux, ...).

Un compte rendu de synthèse sera effectué par L'ITAB et ses partenaires régionaux au bout de trois ans.

ANNEXES

- Annexe 1** **Résumé des observations et mesures à effectuer**
- Annexe 2** **Zones de comptage et de mesures : exemples de positionnement et recommandations**
- Annexe 3** **Aide à la détermination de quelques stades de développement**
- Annexe 4** **Calcul du peuplement à la levée**
- Annexe 5** **Éléments pour un diagnostic d'état structural (profil cultural)**
- Annexe 6** **Enherbement**
- Annexe 7** **Notations maladies**
- Annexe 8** **Notations ravageurs**
- Annexe 9** **Calcul de la production de matière sèche dans les parties aériennes**
- Annexe 10** **Calcul de la teneur en azote des parties aériennes**
- Annexe 11** **Détermination de composantes du rendement**
- Annexe 12** **Céréales et azote : quelques éléments d'information**

(hors partie 5)

1 – Rappel des choix préalables

- Identification de situations culturelles fréquentes dans l'aire géographique considérée
- Choix de la parcelle où sera implanté l'essai (correspondant à une situation culturelle donnée)
- Choix de la variété de blé d'hiver à implanter
- Choix de l'engrais organique à étudier

2 - Caractérisation de l'essai

- Caractérisation du produit à épandre (si possible analyse 1 mois avant l'épandage de façon à avoir les résultats)
- Données sur la situation géographique
- Données sur le sol
- Histoire culturelle de la parcelle (cultures, rendements, amendement/fertilisation les dernières années)
- Données climatiques

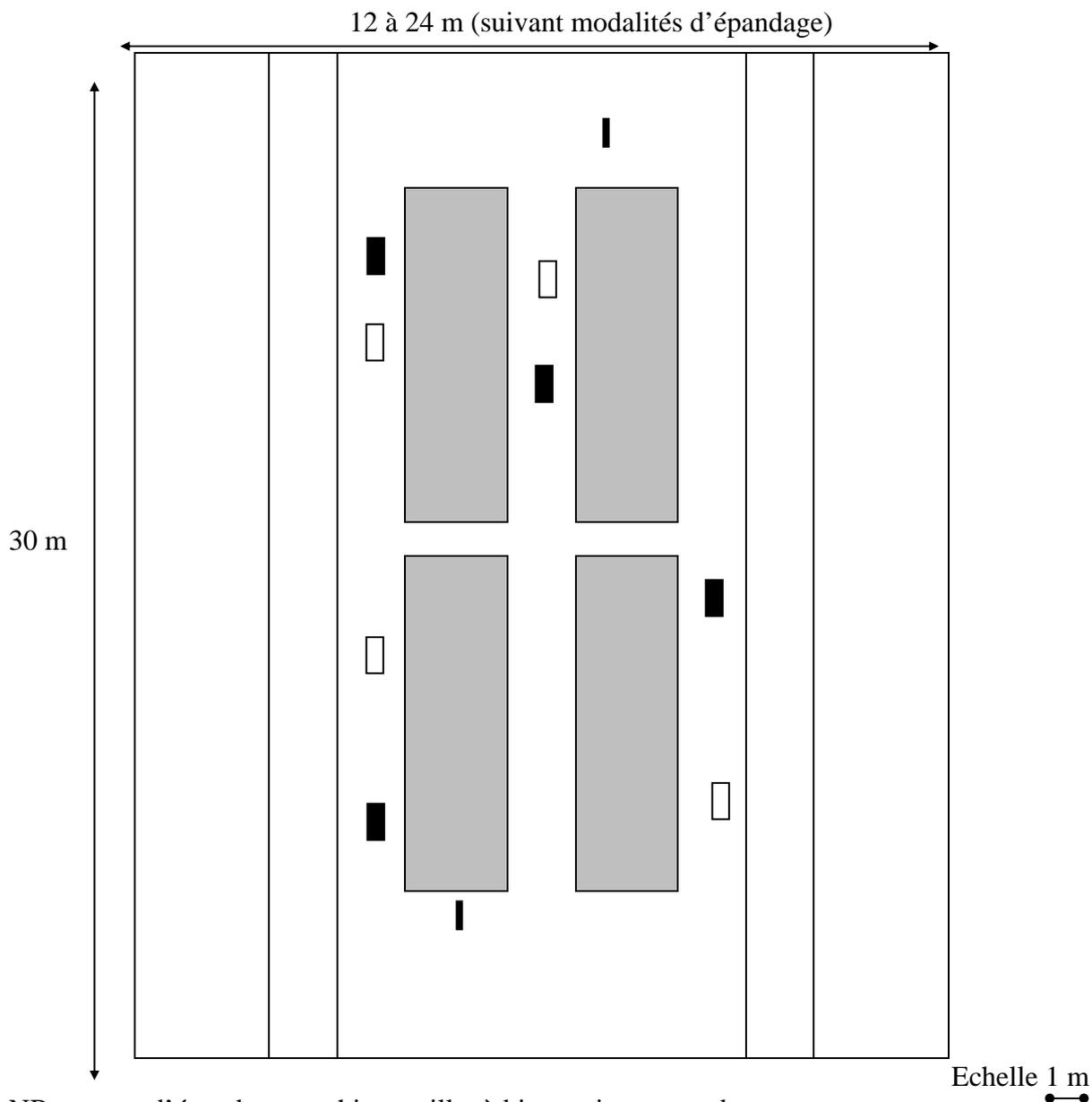
3 – Observations en cours de campagne

Voir tableau page suivante.

En caractère droit : observations indispensables.

En caractères italiques : observations facultatives

Observations	Date/période de réalisation	Temps nécessaire	Commentaires
Conduite et évolution de la culture			
- Noter les opérations culturales : date, objet, degré de réussite.	A chaque intervention		
- Visites de surveillance des parcelles : noter l'état des cultures et, les cas échéant, les différences visuelles. - Détermination de la date de réalisation des principaux stades.	A la réalisation des principaux stades : levée, début tallage, épi 1 cm, épiaison, floraison, maturité.		
- Densité de peuplement (nb pieds/m ²)	A la levée et en sortie hiver.		En cas de peuplement anormalement bas
Identification de facteurs limitants			
- Si mauvais développement de la culture, observation de l'état du sol (profils culturaux « simplifiés »). - Profils culturaux	Après le dernier hersage ou binage, du stade 2 nœuds jusqu'à la floraison		
- Evaluation de présence ou non de stress hydrique, ou de risques végétatifs tels que échaudage ou gel de l'épi.	En fonction des données climatiques de l'année.		
- Enherbement Notations visuelles globales des parcelles ; notations dans les ronds en cas de répartition hétérogène.	- D1 : stade 2 nœuds ou 20j après le passage de la herse ou bineuse (si tardif) - D2 : stade grain laiteux-pâteux		Si répartition hétérogène, les noter sur un plan du dispositif.
- Notations maladies Prélèvement au hasard de 30 tiges par parcelle ; notation des maladies selon les échelles visuelles ITCF.	Stade fin floraison/grain laiteux		
- Notations ravageurs (puçerons essentiellement)	- Avant hiver - Vers le stade 2 nœuds - A la floraison - Au stade grain pâteux		Les observations d'autres ravageurs, s'ils sont présents, ne sont pas exclues.
Observations sur les effets azote des produits étudiés			
- Production de matière sèche et teneur en azote des parties aériennes.	Au stade épi à 1 cm, à la floraison et à la récolte.		Permet le calcul de l'azote total absorbé et le calcul des CAU.
- Reliquats azotés : . REH . RSH . RPR (recommandé si sol profond)	- A l'entrée de l'hiver - En sortie hiver, avant apport - Après récolte		
- Nombre d'épis/m ² (si mauvais dévelop ^t) - PMG - Rendement machine - Teneur en protéines - Zélény	A la récolte		Permet le calcul du nombre de grains /m ² .

Exemples de positionnement dans un parcelle élémentaire

NB : en cas d'épandage machine, veiller à bien tenir compte des zones de passage du tracteur et des zones de recouvrements.

- ┃ Zone de comptage du peuplement levée (facultatif)
- Zone de prélèvement pour la mesure de production de matière sèche au stade épi à 1 cm
- Zone de prélèvement pour la mesure de production de matière sèche au stade récolte
- Zone de récolte machine

Si effectués, les prélèvements de plantes et d'épis pour la détermination des stades épi à 1 cm et récolte doivent se faire en dehors de zones délimitées ci-dessus.

Quelques recommandations sur les zones d'observation et de comptage

➤ **Les zones d'observation** devront éviter les passages de roues et se situer à 0,50 m de toute bordure.

➤ **Les zones de comptage**

Chaque placette de comptage sera composée de **2 rangs adjacents sur 1 m de longueur**. Pour un comptage, on peut répéter les placettes **3 ou 4 fois dans une parcelle élémentaire**.

Aucune placette ne sera mise à moins d'un mètre du début ou de la fin de la parcelle (pour éviter les effets de bordure frontale).

Chaque placette sera distante de sa voisine d'au moins 1 m en tous sens.

Le repérage de la placette se fera grâce à 4 piquets.

Exclure au moins un rang de bordure de chaque côté du passage de semoir ou des traces de roues de semis et répartir les placettes sur les rangs centraux.

Le positionnement des placettes doit être le même sur toutes les parcelles (numéro de rangs du semoir notamment).

1 – Stade levée

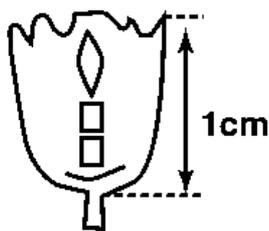
- ▶ Période d'observation :
 - dès l'apparition des premières plantules.
- ▶ Méthode d'observation :
 - passer en bout de parcelle et observer les lignes de plantes levées. Le stade levée est atteint lorsque les lignes sont visibles sur toute la longueur de la parcelle.

2 – Stade début tallage

- ▶ Période d'observation :
 - dès l'apparition de la 3^{ème} feuille sur les plantules les plus avancées.

3 – Stade épi 1 cm

- ▶ Période d'observation :
 - en sortie d'hiver au redémarrage de la végétation lorsque les talles se redressent et commencent à monter.
- ▶ Méthode d'observation :
 - prélever 20 maîtres brins par parcelle,
 - fendre le brin de bas en haut avec un cutter, selon le diamètre de la tige,
 - mesurer la hauteur séparant la base du plateau de tallage (point d'insertion de la 1^{ère} feuille) et le sommet de l'épi,
 - moyenner les 20 mesures,
 - réaliser cette mesure 1 fois par semaine, arrêter les observations lorsque la valeur moyenne des 20 mesures est supérieure à 1 cm.



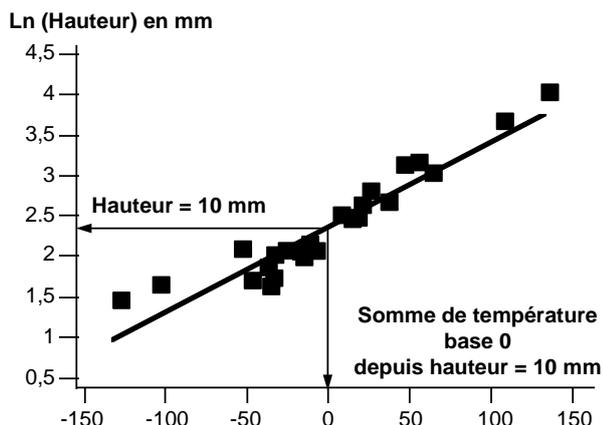
Les densités élevées conduisent généralement à un stade épi 1 cm plus précoce.

Théoriquement la détermination de ce stade nécessite au moins trois notations dans le temps de façon à l'encadrer.

Réaliser une notation précise lorsque le stade est nettement dépassé (effectuer les mesures régulièrement sur quelques plantes). Prélever alors 20 plantes par variété, noter la hauteur de l'épi comme indiqué ci-dessus, puis calculer le date du stade épi 1 cm à l'aide de la courbe ci-dessous.

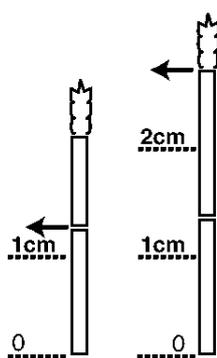
Par exemple, la valeur moyenne de mesure indique 1.3 cm le 21/03, soit Ln13 = 2.6 soit 25 degrés-jours à partir du graphique. Avec les données météorologiques, on calcule le nombre de journées

nécessaires pour obtenir 25dj, par exemple 3 jours, le stade épi 1 cm est alors estimé au 18/03. Ce calcul pourra être réalisé par l'ITCF à partir de sa base de données météo.



4 – Stade 1-2 nœuds

La date d'apparition du stade 2 nœuds est estimée par cumul de températures depuis le stade épi à 1 cm (épi à 1 cm + 250°C) ou déterminée précisément.



Détermination précise : les tiges des maîtres brins sont fendues.

Le stade 2 nœuds est atteint quand le 1er entre nœud a une longueur minimum de 1 cm et que le 2ème entre nœud a une longueur minimum de 2 cm.

Le stade 2 nœuds est atteint quand 50 % des tiges ont atteint ce stade.

Attention : des pseudo-entre-nœuds peuvent être présents à la base de la tige. De couleur blanche, leur contenu est plein au contraire des vrais entre-nœuds qui sont creux. Ils sont comptabilisés comme un nœud vrai si leur longueur dépasse 15 mm.

dépasse 15 mm.

5 – Stade épiaison

► Période d'observation :

- dès l'apparition des premiers épis.

► Méthode d'observation :

- passer en bout de parcelle deux fois par semaine et estimer le pourcentage d'épis sortis de la gaine. Effectuer la mesure globalement sur l'ensemble de la parcelle (appréciation visuelle sans prélèvements). Arrêter les observations lorsque le pourcentage estimé d'épis sortis de la graine est supérieur ou égal à 50 % du nombre de tiges.

6 – Stade floraison

La date d'apparition du stade floraison est estimée par cumul de températures depuis l'épiaison ou déterminée précisément.



Détermination précise :

Le stade floraison est atteint lorsque les premières étamines (généralement situées au milieu de l'épi) sont visibles sur 50 % des épis dans la parcelle.

Plusieurs dates de notation sont indispensables pour repérer ce stade.

Remarque : la floraison n'est pas un stade précis. En effet, la sortie des étamines est très variable ; celles-ci peuvent rester très longtemps visibles sur l'épi ; dans certains cas, elles apparaissent très tard alors que les grains sont déjà formés. Dans de telles situations, seule la couleur des anthères permet d'estimer le stade : la floraison correspond à des étamines de couleur jaune (mûres).

7 – Stade maturité récolte

► Période d'observation :

- dès que le grain commence à durcir.

► Méthode d'observation :

- passer en bordure de parcelle, prélever 2 ou 3 épis, les égrener entre les 2 mains. Le stade est atteint lorsque les grains ne sont plus coupables avec les ongles et une forte pression avec les dents est nécessaire pour pouvoir les sectionner.

▶ Période d'observation :

- lorsque la 1^{ère} feuille est développée mais avant le développement de la 2^{ème} feuille.

▶ Méthode d'observation :

- compter l'ensemble des plantules présentes dans chacune des zones de comptage (3 zones de 1 m de long sur 2 rangs adjacents),
- faire la moyenne des 3 comptages par parcelle.

▶ Calcul du peuplement :

$$\frac{\text{Moyenne des 3 comptages}}{1 \text{ m} \times (2 \text{ écartements entre rang en m})} = \text{nombre de pieds par m}^2$$

On cherche à caractériser sommairement l'état structural, de façon à apprécier le niveau de fonctionnement du sol.

Une petite tranchée sera effectuée, hors dispositif, perpendiculairement aux lignes de semis, après le dernier hersage ou binage, du stade 2 nœuds jusqu'à la floraison, sur une largeur de semis et sur au moins 40 cm de profondeur, ou alors deux petites tranchées d'au moins 40 cm de largeur et longueur, sur environ 50 cm de profondeur aux extrémités de l'essai (hors zones de fourrière ou des passages de tracteur).

On notera les principaux accidents d'état structural dans la couche arable, le sous-labour et les horizons sous-jacents :

- présence significative de zones très massives non colonisées par les racines,
- présence significative de zones creuses (poils absorbants des racines visibles)
- présence significative de résidus de la culture précédente faisant obstacle aux racines.

En creusant, plus profondément si nécessaire, on notera également la profondeur limite d'apparition des racines.

A titre d'exemple, rédiger comme suit :

- Limon profond sur fond limoneux : Date le 1/5/2000
 - profondeur explorée par les racines : 1,30 m.
 - fond de labour très fissuré : passage facile pour les racines ; faible discontinuité pour le passage de l'eau.
 - zone labourée structurée, non compacte, avec la MO assez bien répartie dans le profil et décomposée ; bonne colonisation par les racines.
(structure O, motte Γ : Cf. Gautroneau-Manichon).

- Limon argileux sur argile à 80 cm : Date : le 1/5/2000
 - profondeur explorée par quelques racines : 60 cm, limitées par un lit de concrétions ferro-manganiques.
 - fond de labour compact peu fissuré gênant le passage des racines et perturbant le passage de l'eau et de l'air.
 - zone labourée de structure hétérogène, avec lit discontinu de MO en fond de raie de labour, surmonté de 5 cm de gley; colonisation partielle par les racines pénétrant peu dans les cœurs de mottes compactées (structure B, motte Δ).

NB : pour plus de détails et à titre de guide, une « Approche descriptive de profils de sols », rédigée par Claude Aubert (CA 77 – GAB Région Ile de France) peut être fournie par l'ITAB.

Ce protocole d'observation a été mis au point au cours de la réunion de la commission grandes cultures de l'ITAB (comité restreint) le 22/04/98 à Clermont Ferrand.

I - PREAMBULE

La mise en place d'une grille d'évaluation va permettre d'évaluer la nuisibilité potentielle des adventices sur céréales d'hiver. Cette grille sera mise en place au plan national et applicable par tous dans les essais de comparaison variétale et fertilisation azotée afin de déterminer s'il y a eu, ou non, un facteur limitant " enherbement ".

II - MISE EN APPLICATION

On distingue deux périodes d'observation des adventices (D1 et D2) selon la précocité de leur cycle et leur morphologie :

- **D1 : au stade 2 noeuds, à reporter en cas de passage de herse ou bineuse tardif**, de façon à avoir au moins 20 jours entre ce passage et l'observation des adventices.
- **D2 : au stade grain laiteux-pâteux** de façon à noter toutes les adventices qui dépassent de la culture.

L'évaluation de la densité se fait **adventice par adventice**, par une **évaluation visuelle globale de la parcelle**, ou notation globale dans les ronds en cas de répartition très hétérogène. Dans ce cas, on prendra soin de noter sur un plan du dispositif le positionnement des adventices les plus pénalisantes (cela permettra d'écarter certaines parcelles de l'analyse s'il y a lieu).

Les repousses de colza, tournesol, pomme de terre et féverole seront impérativement arrachées manuellement dès qu'elles sont bien visibles.

III - MESURE de la NUISIBILITE DIRECTE

Elle sera évaluée à partir d'une grille de notation qui s'échelonne sur 5 classes de densité de 1 à 5.

Pour chaque adventice, il est déterminé sa date critique (D1, D2), c'est à dire sa date d'observation ainsi que son seuil de nuisibilité (nombre de plante/m²) exprimé par une échelle de 1 à 5.

Notes	1 ⇒ 1 à 5 adventices/m ²	4 ⇒ 50 à 100 adventices/m ²
	2 ⇒ 6 à 20 adventices/m ²	5 ⇒ > 100 adventices/m ²
	3 ⇒ 20 à 50 adventices/m ²	

A la date d'observation si l'adventice a atteint son seuil de nuisibilité, on estime qu'il y aura un effet dépressif probable sur l'essai, dont il faudra tenir compte dans l'analyse des résultats.

Exemple : à sa date d'observation D1, la matricaire a la note 2, son seuil de nuisibilité étant de 3, on estime que cette adventice n'aura pas d'effet dépressif sur l'essai.

GRILLE d'EVALUATION des ADVENTICES

ESPECES	Date d'observations	Nuisibilité	ESPECES	Date d'observations	Nuisibilité
Agrostide	D1/D2	3	Ortie royale	D2	3
Avoine à Chapellet	D2	2	Paturin	D1/D2	2
Bleuet	D2	3	Pensée	D1	4
Capselle	D2	3	Pissenlit	D1	4
Carotte sauvage	D1	4	Plantain	D1	4
Ceraiste	D1	4	Prêle	D1	2
Chardon	D2	1	Ravenelle	D2	2
Chiendents	D2	2	Ray Grass	D1/D2	2
Coquelicots	D2	2	Renoncule des champs	D1	4
Folle avoine	D2	2	Renoncule rampante	D1	3
Fumeterre	D1	4	Renouée des oiseaux	D1	5
Gaillet	D2	1	Renouée liseron	D1	5
Géranium	D1	4	Repousse de luzerne	D2	2
Gesse	D2	3	Rumex	D2	1
Grémil	D1	3	Sanve	D2	2
Lamier	D1	4	Séneçons	D1	5
Liseron	D2	2	Stellaire	D1	4
Matricaire	D1	3	Tussilage	D2	1
Miroir de Vénus	D1	5	Valériane	D1	4
Morelle	D1	5	Véronique	D1	4
Mouron des Oiseaux	D1	4	Vesce	D2	2
Myosotis	D1	4	Vulpin	D1/D2	2

Légende :∂ **Date d'observations**

D1 = 20 à 30 jours après le dernier passage de la herse ou bineuse

D2 = au stade grain laiteux-pâteux

• **Seuil de nuisibilité**1 : 1 à 5 plantes/m²3 : 20 à 50 plantes/m²5 : > 100 plantes/m²2 : 6 à 20 plantes/m²4 : 50 à 100 plantes/m²

Le texte ci-dessous et les échelles visuelles apparaissant dans les pages suivantes sont **extraits du document ITAB « Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique »** (version janvier 2000). Il suffit de les adapter au cas des essais fertilisation.

NB : par souci de simplification, les notations peuvent être ramenées à 4 classes.

- 0 : rien ou traces
- 1 : 10 à 33 %
- 2 : 33 à 66 %
- 3 : > 66 %

* * *

« Les notations sont à effectuer sur toutes les parcelles, elles permettront de caractériser le niveau de présence des maladies et leur incidence potentielle sur les résultats. **Ces observations sont indispensables.**

On prévoit une seule période de notation **autour du stade fin floraison-grain-laiteux** pour apprécier **l'état sanitaire des dernières feuilles** et le niveau de présence de **maladies du pied (piétin verse, rhizoctone,...)**.

▪ Période

Cette notation doit être effectuée avant le début de la sénescence des feuilles qui peut intervenir précocement sur des plantes en situation de stress, ne pas hésiter à faire la notation plus tôt si des nécroses importantes apparaissent sur les dernières feuilles.

▪ Méthodes

- **Maladies foliaires** : notation des maladies présentes sur les dernières feuilles (rouille brune, rouille naine, oïdium, septorioses, rhynchosporiose, helminthosporiose) selon le protocole de « *notations globales des maladies foliaires des céréales - ITCF* » (voir [annexe 7.1](#) ci-après).
- **Maladie de pied** : notation des maladies de pied (piétin verse, rhizoctone) selon le protocole de « *notations détaillées des maladies de pied - ITCF* » (voir [annexe 7.2](#) ci-ci-après).
- **Cas particuliers** : on notera par ailleurs la **présence éventuelle de ronds de rouille jaune** à la floraison selon le protocole de « *notations globales* » (voir [annexe 7.1](#)), et **en cas de fusariose déclarée** (avertissements régionaux), on effectuera **une notation spécifique sur épi au stade grain pâteux**) selon le protocole de « *notations détaillées des maladies d'épis - ITCF* » (voir [annexe 7.2](#)). »

« **Annexe 7.1 : notations globales des maladies foliaires des céréales** »

« OBJECTIF :

Estimer visuellement l'intensité d'une maladie foliaire (ou des épis) sur un ensemble de plantes.

CADRE :

Appréciation globale de l'intensité d'une maladie présente dans une parcelle expérimentale.

CONTENU :

Description de la méthode par notation globale, après visualisation des symptômes sur un ensemble de plantes.

PRINCIPE GÉNÉRAL :

L'**intensité** d'une maladie (surtout foliaire) est estimé visuellement sur un **ensemble** de plantes d'une même zone homogène.

La **notation** est **globale** et calée sur le pourcentage de présence de symptômes sur une strate végétative ou sur un étage foliaire particulier de la zone considérée.

Plusieurs zones élémentaires (3 à 4) d'une même parcelle sont notées par un ou plusieurs notateurs.

La **moyenne** des notes qui correspondent au même traitement représente l'**intensité** de la maladie visible le jour de la notation, sur la strate ou l'organe foliaire considéré.

1 – QUOI NOTER ?

Surtout les maladies foliaires

De manière générale, cette méthode s'adresse aux maladies **foliaires**. Elle peut aussi être utilisée pour des maladies des épis.

Elle est à **éviter**, si la maladie est difficile à visualiser (exemple des maladies du " pied " comme le piétin, la fusariose, le rhizoctone,...).

Une seule maladie à chaque fois

L'estimation de l'intensité ne porte que sur **une seule maladie** notée spécifiquement.

Plusieurs maladies présentent au moment d'une observation **sont notées séparément**.

Une strate végétative bien repérée ou un étage foliaire

L'estimation peut porter sur une (ou plusieurs) strate(s) végétative(s), ou sur un (ou plusieurs) étage(s) foliaire(s) bien repéré(s).

Exemples : l'ensemble des épis, l'ensemble des dernières feuilles, le tiers médian (feuilles 3 et 4), la dernière feuille, la F3.

2 – OU NOTER ?

Une note pour une zone élémentaire

Une parcelle expérimentale est notée à partir de plusieurs “ petites ” zones élémentaires situées à 50 cm au moins des limites de celle-ci.

Une note est attribuée à chaque zone.

Une zone est une petite surface proche du notateur

La taille de la zone est laissée à l’initiative de chaque notateur. Mais la surface est proche et correspond à un champ de vision limité après arrêt dans la parcelle.

Exemple n°1 :

Le notateur reste debout et note par vue de dessus la présence globale de la maladie visible sur l’ensemble des dernières feuilles dans un rayon de 50 à 100 cm devant lui...

Exemple n° 2 :

Le notateur écarte la végétation avec le bras ou un bâton perpendiculairement aux lignes de semis, et note globalement la présence de la maladie sur la moitié supérieure des plantes (les 2 dernières feuilles,...).

3 – COMMENT NOTER ?

Une estimation de 0 à 100 (pourcentage de couverture par zone)

L’intensité de la maladie présente sur la strate végétative, ou l’étage foliaire est **estimée** de 0 à 100.

La note de 0 à 100 traduit le pourcentage de couverture de la strate notée par la maladie.

Le pourcentage de couverture est **approché globalement** sur l’ensemble des plantes d’une même zone.

Une note est attribuée à **chaque zone** en balayant du regard l’ensemble des plantes qui s’y trouvent.

Le **même mode** de notation est retenu pour toutes les zones, de toutes les parcelles d’un même essai.

Intensité maladie = moyenne des notes par traitement

La **moyenne** de toutes les notes qui correspondent au même traitement de l’essai est l’indicateur de l’**intensité** moyenne de la maladie.

Cette moyenne (note finale) est utilisée pour caractériser l’état sanitaire (intensité de maladie) à la date de notation et pour calculer les efficacité par rapport (%) au témoin retenu.

La précision

Pour assurer une relative précision de la note finale, la moyenne doit être calculée à partir de 4 notes élémentaires **au minimum**. »

« **Annexe 7.2 : notations détaillées des maladies de pieds et d’épis** »

« Le principe de notation est celui d'une notation détaillée des maladies en utilisant des échelles de surface occupée par les symptômes de chaque maladie pour un type d'organe (tiges, feuilles ou épis).

Cette méthode s'applique aux maladies foliaires, de pieds ou d'épis. Plusieurs maladies peuvent être notées simultanément en distinguant chaque maladie et à condition que les symptômes dus à chacune d'entre elles ne puissent pas prêter à confusion.

Sur chaque organe, on observe les symptômes et on note l'intensité de la maladie présente à partir d'une estimation du pourcentage de sa couverture sur l'organe et en s'aidant des échelles visuelles apparaissant dans les pages suivantes. On inclue dans l'estimation de la surface couverte par la maladie les zones de halos chlorotiques parfois présents en périphérie des symptômes ou les dessèchements attribuables à la maladie. Lorsque le doute est trop important, en particulier à l'approche de la maturité, il est alors conseillé de noter la surface verte résiduelle. L'intensité de la maladie est estimée sur une échelle de 0 à 100.

Echantillon : théoriquement, un total minimum de 60 organes par traitement est nécessaire pour une estimation fiable de l'intensité d'une maladie (soit 20 organes par bloc pour 3 blocs).

Dans le cas de nos essais fertilisation, nous avons retenu de ne prélever que 30 tiges réparties de façon égale dans chaque parcelle élémentaire (attention pour les témoins zéro à ne pas les mélanger). Les tiges prélevées seront conditionnées et identifiées par parcelle élémentaire dans l'attente de la notation à réaliser au bureau

Méthode de notation : . Les échelles de notation sur épis et tiges ont été conçues par l'ITCF dans le même esprit que les échelles de notations sur feuilles issues du logiciel DISTRAIN (J.R. TOMERLIN et A. HOWELL, 1988). Ces dernières ont pour objectif de faciliter les estimations visuelles du pourcentage de surface malade.

S'il y a plusieurs notateurs sur un même essai, il convient d'essayer d'harmoniser sur quelques échantillons les notes. Il est également indispensable que chacun effectue toujours le même nombre de notations d'une parcelle à l'autre (par exemple toujours $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{3}$ des notes attribuées).

Calculs : On calcule l'intensité de chaque maladie par organe et par variété en faisant la moyenne de toutes les notes attribuées sur les 30 organes prélevés.

On peut également calculer une fréquence moyenne de maladie pour un organe et une variété, en effectuant le rapport entre le nombre d'organes présentant au moins un symptôme et le nombre total d'organes observés.

Pages suivantes : échelles de notation ITCF (pieds et épis).

Les écrits ci-dessous sont **extraits du documents ITAB « Protocole de suivi d'essais comparant des variétés de céréales à paille d'hiver en conduite biologique »** (version janvier 2000). Ils sont également valables pour le présent protocole.

Néanmoins, on pourra simplifier la notation en la ramenant à 3 ou 4 classes :

- rien ou traces,
- présence,
- niveau moyen mais favorisant déjà la multiplication et la dissémination du parasite,
- niveau élevé pénalisant le rendement ou/et la qualité,

sans oublier de noter le stade correspondant de la culture et son état éventuel de stress.

* * *

« On vise essentiellement les pucerons. On prévoit **deux à quatre périodes d'observations globales** du site de l'essai sans prélèvements de plantes :

- ↳ **avant hiver**, noter la présence éventuelle de pucerons
 - Méthode : notation de présence/absence par déplacement en diagonale sur l'ensemble du site.
 - Observation indispensable**
- ↳ **vers le stade 2 nœuds**, noter la présence éventuelle de jaunissement (jaunisse nanisante)
 - Méthode : notation visuelle globale en présence/absence de ronds jaunes ; faire un test Elisa en cas de doute.
 - Observation facultative**
- ↳ **à la floraison**, noter la présence éventuelle de pucerons
 - Méthode : notation par déplacement en diagonale sur l'ensemble du site ; sur 5 zones et 20 tiges, notation de la taille des colonies et de la fréquence de pieds attaqués.
 - Observation indispensable**
- ↳ **au stade grain pâteux**, noter la présence éventuelle de pucerons
 - Méthode : notation par déplacement en diagonale dans l'ensemble du site ; sur 5 zones, notation de la taille des colonies et de la fréquence de pieds attaqués.
 - Observation facultative** (sauf si présence importante déjà à la floraison)

Ces propositions n'excluent pas des observations complémentaires sur d'autres ravageurs en cas de présence révélée (limaces, tordeuses, noctuelles, mouches grises,...). »

1 – Production de matière sèche dans les parties aériennes au stade épi à 1 cm

▶ Période de mesures :

- dès l'apparition du stade épi à 1 cm.

▶ Méthode :

- prélever les plantes présentes dans chacune des zones de mesures (4 zones de 1 m de long sur 2 rangs adjacents), en les coupant au ras du sol à l'aide d'un cutter,
- mettre la totalité des plantes prélevées dans une zone, dans un panier à étuve,
- étuver 48 heures à 80 °C,
- peser le poids sec plus la tare,
- peser la tare.

▶ Calcul de la production de matière sèche des parties aériennes au stade épi à 1 cm

$$\frac{\text{Poids sec plus la tare (g)} - \text{tare (g)}}{(1 \text{ m} \times 2 \text{ écartements entre rang en m})} \times 10 = \text{production de matière sèche (kg/ha)}$$

2 – Production de matière sèche dans les parties aériennes à la récolte

▶ Période de mesure :

- à partir du moment où le grain devient dur (encore coupable à l'ongle) et à la récolte machine.

▶ Méthode :

Avant la récolte machine :

- prélever les plantes présentes dans chacune des zones de mesure (4 zones de 1 m de long sur 2 rangs consécutifs) en les coupant au ras du sol à l'aide d'un cutter,
- peser le poids vert récolté dans chacune des zones de mesure,
- couper les épis (juste à la base du rachis),
- battre les épis, récupérer les grains, les peser, en déterminer le poids sec par étuvage à 80 °C pendant 48 heures,
- sous-échantillonner les pailles, en déterminer la teneur en matière sèche par étuvage à 80 °C pendant 48 heures.

A la récolte machine :

- récolter 4 zones par parcelle à l'aide d'une moissonneuse batteuse pour petites parcelles (4 zones de 1.25 m × 10 m de long),

- peser individuellement le grain récolté dans chacune de ces 4 zones,
- prélever 2 échantillons destinés à la détermination de la teneur en eau du grain (48 heures à 80 °C).

► Calculs :

- Teneur en matière sèche des pailles par zone de mesure :

$$\frac{\text{Poids sec avec tare (g)} - \text{tare (g)}}{\text{Poids vert avec tare (g)} - \text{tare (g)}} \times 100$$
- Poids sec de paille par zone de mesure :
 (Poids vert récolté – Poids de grain humide) × teneur en matière sèche de la paille
- Rapport poids de grain/poids de paille sèche par zone de mesure :
 Poids de grain sec/poids sec de paille
- Teneur en eau du grain :

$$\frac{(\text{Poids humide avec tare} - \text{tare}) - (\text{Poids sec avec tare} - \text{tare})}{\text{Poids sec avec tare} - \text{tare}}$$

Moyenner les 2 mesures réalisées sur chacune des zones de récolte.

- Rendement grain sec à 80 °C par zone de récolte

$$\left\{ \frac{\text{Poids de grain récolté (kg)}}{100 + \text{teneur en eau}} \times 100 \right\} \times 10\,000$$

 Largeur récoltée (m) × longueur récoltée (m) = kg de MS grain/ha

Moyenner les 4 rendements calculés par traitement

- Rendement en paille sèche :

$$\frac{\text{Rendement moyen en grain du traitement}}{\text{Rapport (grain sec/paille sèche)}} = \text{kg de MS de paille/ha.}$$
- Production totale de matière sèche par ha :
 Rendement en grain sec + rendement en paille sèche.

Calcul de la teneur en azote des parties aériennes**1 – Teneur en azote des parties aériennes au stade épi à 1 cm**

▶ Période de mesures :

- au moment de la mesure de la production de matière sèche aérienne au stade épi à 1 cm.

▶ Méthode :

- à la sortie d'étuve, regrouper les plantes des 4 zones de prélèvement d'une parcelle dans un sac plastique, fermer hermétiquement (lien ou soudure), étiqueter et envoyer au laboratoire pour analyse N total Dumas.

2 – Teneur en azote des parties aériennes à la récolte

▶ Méthode :

- lors de la mesure de la teneur en matière sèche des pailles, à la sortie d'étuve, regrouper dans un sac plastique les pailles de 4 zones de prélèvement d'une parcelle, fermer hermétiquement (lien ou soudure), étiqueter et envoyer au laboratoire pour analyse N total Dumas,
- à la récolte machine, après la pesée du poids total récolté, prélever un échantillon de 500 g de grains (minimum = 100g) et l'envoyer au laboratoire dans un sac plastique fermé hermétiquement (lien ou soudure) et étiqueté pour analyse de N total Dumas.

* * *

Ce point du protocole nécessite d'avoir accès à une étuve et quelques moyens financiers supplémentaires (130 F par analyse environ, soit $9 \times 130 = 1170$ F par essai : témoin 0, traitement à 40U, traitement à 80U ; 3 analyses des parties aériennes au stade épi à 1 cm, 3 analyses des pailles et 3 analyses des grains à la récolte).

* * *

Calcul de l'azote total absorbé

L'absorption de la plante en azote correspond à la quantité d'azote prélevée par celle-ci et exprimée en kg N par hectare.

Son calcul fait intervenir la biomasse des parties aériennes et la teneur en azote total et se définit par :

- au stade épi à 1 cm :

$$N \text{ abs.} = \text{MS totale des parties aériennes en kg/ha} \times \% \text{ N des parties aériennes}$$

- à la récolte :

$$N \text{ abs.} = (\text{MS totale paille en kg/ha} \times \% \text{ N paille}) + (\text{MS totale épi en kg/ha} \times \% \text{ N épi})$$

Le calcul de l'azote absorbé total (avec les racines) est le suivant :

$$N \text{ abs. Total} = N \text{ abs.} \times 1,25$$

↵ Rendement**↵ Poids de mille grains = PMG et humidité**

- période : à la récolte
- méthode : à partir d'un échantillon machine nettoyé par parcelle élémentaire ;
 - mesure immédiate de l'humidité de cet échantillon avec humidimètre ou d'un sous-échantillon si la mesure se fait en étuve (méthode plus précise) ;
 - pesée précise immédiate d'un sous-échantillon (non passé à l'étuve) en visant environ 50 grammes, puis comptage des grains dans ce sous-échantillon à l'aide d'un compteur de grain.

Le nettoyage des échantillons est important pour ne pas biaiser les mesures. Cela consiste à débarrasser l'échantillon des impuretés (petits cailloux, mottes, fragments de paille, épis, épillets, glumes,...) et des grains cassés ou très petits, par un tamisage préalable avec un tamis à trous long de 1.7 mm.

Attention, il convient de faire la **mesure d'humidité et le pesage des échantillons destinés à la mesure du PMG immédiatement** après la récolte. Par contre, on pourra différer dans le temps, si nécessaire, le comptage des grains dans ces échantillons.

Cette mesure d'humidité permettra de recalculer les rendements et poids de mille grains pour une humidité standard de 15% du poids frais.

1.1 Les principaux facteurs d'utilisation de l'azote par les céréales

- *Le climat* : l'azote sera d'autant mieux utilisé par la céréale que l'humidité, la température et la lumière favoriseront l'absorption racinaire, la transpiration et la synthèse des protéines.
- *Le sol* : la fertilité biologique (vers de terre, micro-organismes,..), physique (structure, texture, aération, ..) et chimique conditionnent la minéralisation et une nutrition équilibrée de la plante.
- *La plante* : l'espèce et la variété déterminent les potentiels de la plante, ce qui permet de connaître le niveau d'exigence et de besoin en azote de la culture.
- *L'itinéraire technique* : l'agriculteur intervient pour orienter en sa faveur les facteurs ci-dessus par le choix variétal, le travail du sol, l'irrigation, etc.

Ainsi les facteurs sont multiples et en interaction les uns avec les autres. L'objectif est d'en déterminer les principaux et d'identifier leurs facteurs limitants dans chaque situation.

1.2 Les effets de l'utilisation de l'azote par la céréale

1) Les effets recherchés

- *Le rendement* : l'azote utilisé par la plante s'exprime sur le rendement et ses composantes
- *La qualité* : en mettant l'azote en réserve, la céréale peut améliorer sa teneur en protéines. Cependant pour l'orge de brasserie, une teneur en protéines élevée n'est pas recherchée.

2) Les effets indésirables

- *Sensibilité aux maladies et parasites animaux* : l'utilisation de l'azote en excès peut engendrer des risques d'attaque de maladies cryptogamiques et/ou d'animaux opportunistes.
- *Sensibilité aux accidents climatiques* : l'azote absorbé par la céréale peut la sensibiliser au gel et à la verse déclenchée par les orages.

Les effets indésirables peuvent se manifester en cas d'alimentation azotée excédentaire par rapport aux autres acteurs de production.

L'enjeu de la fertilisation azotée est de faire le bilan de l'ensemble des facteurs de l'utilisation de l'azote par la céréales et des facteurs de production pour que les effets soient ceux recherchés.

⁵ Page rédigée sur la base de la bibliographie suivante :

- 1999, Soltner D., « Les grandes productions végétales »
- 2000, Soltner D., « Les bases de la production végétales : le sol »
- 1994, De Silguy C., « L'agriculture biologique »