

TEST DE NITRATE SEMI-QUANTITATIF RÉALISÉ SUR LES TIGES DE MAÏS

GUIDE D'ACCOMPAGNEMENT

Test de nitrate semi-quantitatif sur les tiges de maïs

Guide d'accompagnement

Janvier 2026

Auteure

Sarah Brousseau-Trudel, agronome, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)

Révision scientifique

Gérald Villeneuve, agronome, AGEOCLUB



Révision des contenus techniques

Radka Voyvodova-Valeva, agronome, MAPAQ

Véronique Samson, agronome, MAPAQ

Jolyane Breton, MAPAQ

Ce projet est une initiative de la Table sectorielle en grandes cultures du MAPAQ.

Dépôt légal – 2026

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

978-2-555-02386-4 (version électronique)

© Gouvernement du Québec

La reproduction totale ou partielle du présent document est autorisée à la condition que la source soit mentionnée.

Table des matières

Table des matières	2
Mise en contexte	4
Méthodes et matériel nécessaire.....	5
Quand faire l'échantillonnage des tiges?	5
Nombre d'échantillons de tiges à prélever	5
Matériel nécessaire	6
Prélèvement des échantillons de tiges au champ	6
Conservation des échantillons	6
Traitement des échantillons.....	7
Matériel nécessaire	7
Préparation des échantillons.....	7
Déterminer la matière sèche des tiges.....	8
Comment obtenir le taux de matière sèche réel avec la méthode du four ou d'une étuve?.	8
Broyer les tiges	10
Nettoyage	10
Test de bandelettes avec le Nitrachek	11
Calculer la teneur en nitrate résiduel dans les tiges	14
Étapes de calcul	14
Interprétation des résultats	16
Facteurs influençant l'interprétation agronomique des résultats	20
Rendements et qualité de la récolte	20
Phytoprotection des cultures	20
Historique des champs, régimes de culture et saison de culture	21
Annexe 1 : Rappel des notions de dilution.....	22
.....	22
Annexe 2 : Fichier de saisie de données pour les tests de broyage de tige	23
Références	24
Concept de fertilisation.....	25
Appareil de mesure.....	25
Facteurs biotiques (malherbologie)	25
Facteurs biotiques (insectes et maladies)	26
Physiologie végétale	26

Régie de cultures	27
Nitrate dans l'ensilage du maïs.....	27

Mise en contexte

Les besoins en azote du maïs sont élevés. Le maïs peut accumuler plus de nitrate que ses besoins courant en azote lorsque les conditions sont favorables avant la pollinisation, soit au stade VT (sortie des croix). En effet, pour que le grain se développe, le plant de maïs demande un apport important d'azote après la pollinisation (stade R1/soie). Il absorbe l'azote disponible dans le sol majoritairement sous forme de nitrate. Si les nitrates sont insuffisants à cette période, le plant utilisera l'azote emmagasiné dans sa tige et ses feuilles. Au contraire, s'il y a abondance de nitrates dans le sol, il s'y approvisionnera et laissera sa réserve intouchée. Cette réserve permet au plant de maïs :

- de puiser suffisamment de nitrate lorsque les besoins sont très élevés en azote comme lors du pic de croissance après la pollinisation;
- de lui assurer un apport en nitrates lorsqu'ils sont indisponibles dans le sol en raison de conditions climatiques défavorables comme l'excès de précipitations ou la sécheresse.

La prise de mesure de nitrate permet de mieux connaître la dynamique de l'azote dans les champs. Elle aide également à optimiser la fertilisation pour ainsi réduire les pertes environnementales pour une agriculture plus durable et efficace. À la fin de la saison de croissance, la réserve de nitrate sera localisée dans le bas de la tige du maïs, le plus loin des sites d'activité photosynthétique de la plante. C'est un bon moment pour tester le niveau de nitrate résiduel sur les tiges de maïs, soit par le test de laboratoire ou le test de coloration qualitatif des tiges¹, pour vérifier si le maïs a été fertilisé de façon optimale.

Afin d'obtenir des mesures de nitrate quantitatives, les tiges sont normalement expédiées dans un laboratoire agréé. Toutefois, il est possible d'extraire soi-même les nitrates de la tige et d'appliquer une méthode de calcul semi-quantitative. Les tests de tige peuvent être jumelés à un test de nitrate du sol pour une meilleure interprétation du bilan de la fertilisation de la saison.

¹ Le test de coloration à la diphenylamine-acide sulfurique peut être utilisé pour identifier les zones riches en nitrate sur les tiges de maïs en fin de saison. Il s'agit toutefois d'un test qualitatif. Référez-vous au [Test de nitrate qualitatif réalisé sur les tiges de maïs](#) disponible sur Agriréseau, pour plus de détails.

Méthodes et matériel nécessaire

Quand faire l'échantillonnage des tiges?

Échantillonnez le plus près possible du moment de la récolte du maïs d'ensilage ou de grain. Il est toutefois recommandé d'échantillonner le maïs-grain une à trois semaines après l'apparition du point noir de maturité physiologique jusqu'à la récolte.

Le prélèvement des tiges de maïs-grains après la récolte est possible seulement s'il est réalisé rapidement après le passage de la batteuse et qu'aucune pluie n'est survenue entre la récolte et l'échantillonnage.

Nombre d'échantillons de tiges à prélever

Le nombre de sous-échantillons varie en fonction de la superficie. Vous pouvez vous référer à des protocoles d'échantillonnage de sol, disponibles sur le site du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), qui se résument ainsi :

Superficie du champ	Stratégie d'échantillonnage
Moins de 10 hectares	1 sous-échantillon (carotte) par hectare pour un minimum de 7 à 10 carottes par section de champ.
Supérieur à 10 hectares	10 sous-échantillons + 1 sous-échantillon par hectare supplémentaire. Vous pouvez aussi faire deux échantillons indépendants, par exemple, un échantillon pour la partie droite et un autre pour la partie gauche du champ. Le nombre de sous-échantillons par échantillon dépendra de la superficie de ces sous-sections de champs.
Supérieur à 25 hectares	25 sous-échantillons + 1 sous-échantillon par 5 hectares supplémentaires. Vous pouvez également faire trois échantillons indépendants ou plus et déterminer le nombre de sous-échantillons selon la superficie de ces sous-sections de champ.

Ajustez votre plan d'échantillonnage en fonction des différents facteurs de variation de la parcelle. Voici quelques informations importantes à savoir :

- Prélevez des échantillons dans l'ensemble du champ.
- Évitez les pourtours du champ, les zones de recroisement ou d'accumulation d'eau qui ne représentent pas l'ensemble de la superficie à échantillonner.
- Tenez compte des différentes zones d'une même parcelle et assurez-vous que la régie de la superficie échantillonnée soit identique. La culture de couverture, l'application de fumier, la fertilisation minérale ou la texture de sol impactent l'apport d'azote.

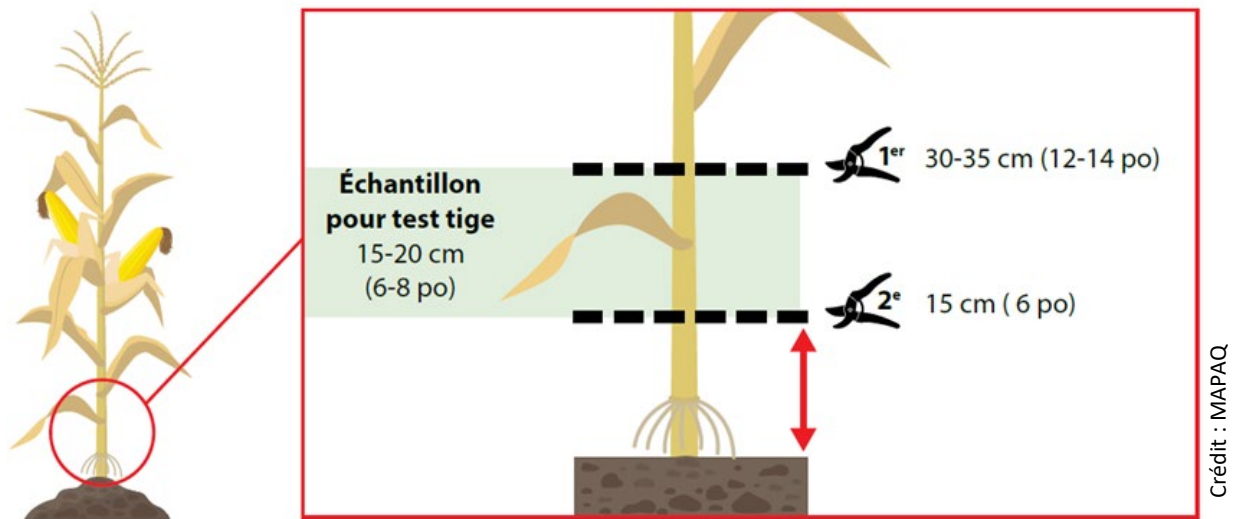
Matériel nécessaire

- Plan de champ
- Ruban à mesurer ou gabarit de mesure
- Sécateur
- Sac de papier ou de plastique
- Marqueur
- Glacière avec bloc réfrigérant

Prélèvement des échantillons de tiges au champ

Prélevez une tige au hasard aux 100 pas. Si l'épi de la tige est anormal, choisissez la tige voisine. Coupez celle-ci à 30 ou 35 cm à partir du sol. Recoupez-la ensuite à 15 cm du sol et conservez la section coupée (voir la figure 1). L'échantillon doit mesurer entre **15 et 20 cm de long**. Une fois prélevées, placez les tiges dans des sacs identifiés (nom du producteur, date, numéro du champ, subdivision du champ) et conservez-les dans une glacière pour le transport. Le froid arrête le processus biologique qui utilise et relâche l'azote des tiges.

Figure 1 : Méthode de prélèvement de l'échantillon de tige



Conservation des échantillons

Idéalement, les tests de tiges par broyage sont réalisés sur des tiges fraîches après la coupe. Toutefois, les échantillons peuvent se conserver au réfrigérateur s'ils sont testés à l'intérieur de sept jours après la coupe. L'utilisation des sacs de papier évite la formation de moisissures.

Si vous prévoyez faire le test dans plus de sept jours, congélez les tiges entières la journée même du prélèvement dans un sac de plastique. Elles se conservent deux mois au congélateur. Une fois décongelées, réalisez le test le plus rapidement possible, car la congélation fait éclater les cellules végétales et active la dégradation. Il n'est pas recommandé de recongeler un échantillon.

Traitement des échantillons

Matériel nécessaire

- Balance (précision de 0,1 g)
- Assiette d'aluminium
- Papier parchemin
- Crayon à mine
- Cylindres gradués de 500 ml et de 100 ml
- Mélangeur
- Eau distillée ou exempte de nitrate²
- Filtre à café et support pour retenir le filtre
- Réflectomètre Nitrachek³
- Bandelettes de tests de nitrate compatibles et calibrées pour l'appareil⁴
- Feuille de saisie de données ou fichier Excel (voir l'annexe 2)
- 2 chaudières
- Tamis (facultatif)

Conseil

Prévoyez deux chaudières supplémentaires pour la gestion des résidus solides et liquides.

Préparation des échantillons

Coupez les tiges en sections de deux à trois centimètres avec un sécateur propre⁵.

Informations à savoir :

- Les rondelles ou petites sections de tiges facilitent le broyage des sous-échantillons.
- Il est recommandé de fendre en deux les rondelles de plus de 2 cm de diamètre ou qui comportent un nœud.
- Les petites rondelles uniformes facilitent l'homogénéisation de l'échantillon⁶.
- Le prélèvement des rondelles doit être fait au hasard et elles doivent être bien mélangées pour obtenir un échantillon homogène.
- Les tiges congelées doivent être coupées au fur et à mesure qu'elles sortent du congélateur.

Figure 2 : Exemple des tiges coupées en petites rondelles (à gauche) ou en grosses rondelles qui nécessitent de fendre les nœuds (à droite)



Crédit : Gérald Villeneuve



Crédit : MAPAQ

² L'eau embouteillée de 20 litres est généralement adéquate. Utilisez le réflectomètre Nitrachek pour vérifier la présence de nitrate (lecture LO). L'eau du robinet ou d'un puit peut elle aussi être adéquate, mais elle ne doit pas contenir de chlore ou d'ozone résultant du traitement à l'usine de filtration. Les concentrations en nitrate dans l'eau potable du robinet peuvent varier en fonction de la saison, il est donc important de revalider le contenu en nitrate régulièrement si vous utilisez de l'eau du robinet ou d'un puit. L'eau distillée est une valeur sûre.

³ Les nouveaux et les anciens modèles de Nitrachek sont tout aussi valables. Ils doivent être calibrés avant l'utilisation.

⁴ Se référer à l'aide-mémoire pour la calibration.

⁵ Il est préférable de rincer à l'eau exempte de nitrate le sécateur entre chaque échantillon pour éviter la contamination croisée.

⁶ Plus les sections de tiges sont petites, plus il sera facile d'uniformiser le mélange. Votre mélangeur sera aussi plus durable dans le temps.

Déterminer la matière sèche des tiges

Le taux d'humidité de chaque échantillon permet de rapporter le résultat sur une base sèche. À titre indicatif, les prélèvements à mi-ligne de lait (ensilage) ont en moyenne de 15 à 17 % de matières sèches (MS) et ceux prélevés à maturité physiologique (point noir) de 20 et 30 % de MS⁷ et varient en fonction de la saison.

Les tests de taux de matière sèche et de nitrate par broyage doivent être réalisés au même moment.

Les taux de matière sèche des tiges de maïs d'ensilage seront toujours plus faibles que ceux des tiges récoltées sur du maïs de grain à maturité. En effet, le taux augmente plus la maturité physiologique du grain (point noir) est dépassé. La variabilité des hybrides de maïs, la régie de cultures, l'état de santé des plants, le climat et les types de sols influencent le taux de matière sèche.

Des résultats de matières sèches supérieurs à 30 % supposent que l'échantillon est encore humide.

Attention

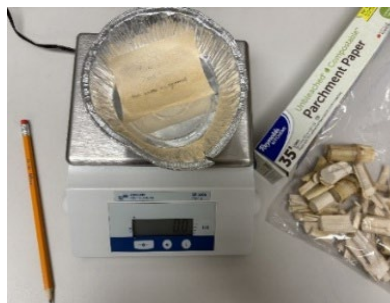
Le taux de matière sèche obtenu avec le lecteur de la batteuse ou au centre des grains n'est d'aucune utilité pour les tests de nitrate dans les tiges. Le contenu en matière sèche du grain de maïs à la récolte se situe typiquement entre 65 et 80 % MS (35 et 20 % de base humide (b.h.)).

En ce qui a trait à l'analyse du fourrage du maïs d'ensilage, les valeurs typiques à la récolte sont de 35 % MS (65 % b.h.). Les épis qui contiennent plus de matière sèche sont mélangés avec les tiges qui sont plus humides.

Comment obtenir le taux de matière sèche réel avec la méthode du four ou d'une étuve⁸?

1. Identifiez l'échantillon avec un papier parchemin et un crayon. À l'aide d'une balance, pesez l'assiette d'aluminium vide et notez le poids.
2. Tarez la balance (déduisez le poids du contenant en vous assurant de remettre la balance à 0 avant d'y mettre les tiges). Pesez ensuite 50 grammes (g) de b.h. de rondelles de tiges dans l'assiette d'aluminium. Cette quantité facilite les calculs, car pour obtenir le pourcentage de MS, il suffit de multiplier par 2 le poids sec des tiges. Conservez le reste de l'échantillon pour la durée des tests au cas où une seconde mesure serait nécessaire.

Figure 3 : Matériels et balance tarée avec 50 g de tiges humides



Crédit : MAPAQ

⁷ Assez souvent, on peut avoir recours à un taux de matière sèche (% MS) approximatif, car le résultat final restera à l'intérieur des mêmes catégories diagnostiques (faible, marginal, optimal ou excessif). Si vous trouvez très peu de nitrate ou à l'inverse énormément, la division par un taux de matière sèche de 0,16 ou 0,25 ne fera pas changer la catégorie de diagnostic. Si vous ne trouvez aucun nitrate, il est inutile de déterminer le taux de matière sèche.

⁸ D'autres méthodes pour assécher la matière sèche sont possibles telles que l'utilisation du micro-ondes.

3. Enfournez les tiges de maïs pour les sécher à 120 °C (250 °F) selon votre four. Le temps suggéré est de :
 - 2 h pour le maïs-grain;
 - 3 h pour le maïs d'ensilage.

Le temps et la température peuvent varier en fonction de votre four et de l'échantillon. Assurez-vous que votre échantillon ne brûle pas. Si c'est le cas, diminuez la température de votre four.

4. Pesez les tiges une première fois après le temps de séchage suggéré. Poursuivre le séchage durant 30 minutes et pesez-les à nouveau.

Si le poids est sensiblement le même⁹, c'est que l'échantillon a atteint son maximum de séchage. Si le poids varie de façon significative, continuez le séchage par tranche de 30 minutes jusqu'à ce qu'il ne varie plus.

5. Notez le poids final de l'échantillon séché et assurez-vous que le poids de l'assiette ne soit pas inclus dans cette donnée.
6. Calculez le taux de matière sèche avec les données cumulées plus haut selon la formule suivante :

$$\left(\frac{\text{poids sec (g)}}{\text{poids humide (g)}} \right) \times 100 = \% \text{ matière sèche}$$

⁹ La variation significative est reliée à la précision de la balance que vous utilisez, c'est-à-dire que si la variation correspond à la précision de la balance entre deux pesées, nous considérons que l'échantillon n'a pas de variation significative. Dans le protocole, une balance de 0,1 g de précision et un échantillon de 50 g b.h. est recommandée. Ainsi, si vous observez une variation de poids après 30 minutes de l'ordre de la précision de la balance (0,1 g), l'échantillon est jugé sec, soit à 100 % MS. Si la variation est plus grande, l'échantillon n'est pas sec.

Broyer les tiges

La quantification en nitrate des tiges débute par une première dilution avec le broyage des tiges.

1. À l'aide d'un contenant, pesez 50 g b.h. de tiges puis versez-les dans le mélangeur.
2. Mesurez 450 ml d'eau distillée ou exempte de nitrate à l'aide d'un cylindre gradué¹⁰ et versez-les dans le mélangeur.

Pour un échantillon de 50 g b.h. de tiges et 450 ml d'eau, le **facteur de dilution**¹¹ est de **10**. Une deuxième dilution peut être nécessaire selon les couleurs de bandelettes obtenues. Votre lecture de l'appareil devrait être en deçà de 100 ppm b.h. Pour plus de détails, référez-vous à l'arbre décisionnel dans la section « Lecture de la bandelette ».

Figure 4 : Les étapes du broyage



Crédit : MAPAQ

3. Broyez de deux à trois minutes jusqu'à ce que ce soit homogène. Un son régulier du mélangeur indique que toutes les rondelles ont été broyées.
4. Placez un filtre à café sur un support comme un entonnoir ou un tamis au-dessus d'un récipient propre et recueillez environ 50 ml de filtrat pour réaliser la lecture avec les bandelettes.

Nettoyage

Entre chaque broyage, jetez les résidus dans une chaudière. Rincez une première fois le récipient du mélangeur à l'eau courante et ensuite avec un peu d'eau distillée ou exempte de nitrate. Il n'est pas nécessaire d'assécher le récipient, seulement de l'égoutter un peu.

Conseil

Évitez de jeter les fibres dans votre évier pour qu'il ne se bouche pas.

Récupérez les résidus solides et liquides dans deux contenants différents. Les résidus liquides peuvent être utilisés pour arroser vos plantes et les solides ajoutés à votre bac à compost avec les filtres à café ou dans une section récoltée de votre potager.

¹⁰ L'utilisation de cylindre gradué pour mesurer les volumes de liquide fait en sorte de ne pas ajouter de source d'erreur lors de vos manipulations. Petit rappel pour la lecture du volume : la graduation de 450 ml doit être en dessous du ménisque formé par l'eau dans le cylindre gradué.

¹¹ Consultez l'annexe 1 pour un rappel sur les notions de dilution ou le fichier Excel qui contient un outil pour valider les facteurs de dilution et le volume de liquide à utiliser.

Test de bandelettes avec le Nitrachek

Avant de débiter, référez-vous au mode d'emploi de l'appareil pour son fonctionnement et sa calibration. Assurez-vous que votre appareil est calibré en fonction du lot de fabrication des bandelettes utilisées avant de commencer vos tests.

Consultez l'aide-mémoire « Calibration de l'appareil Nitrachek et mesures d'échantillons » pour plus de détails sur la méthode de calibration des bandelettes.

Une fois l'appareil calibré, trempez la bandelette dans le filtrat. Avant de l'insérer dans l'appareil, comparez la coloration de la bandelette à la charte indiquée sur la bouteille. Utiliser l'arbre de décision suivant :

Pourquoi calibrer en fonction du lot de fabrication des bandelettes?

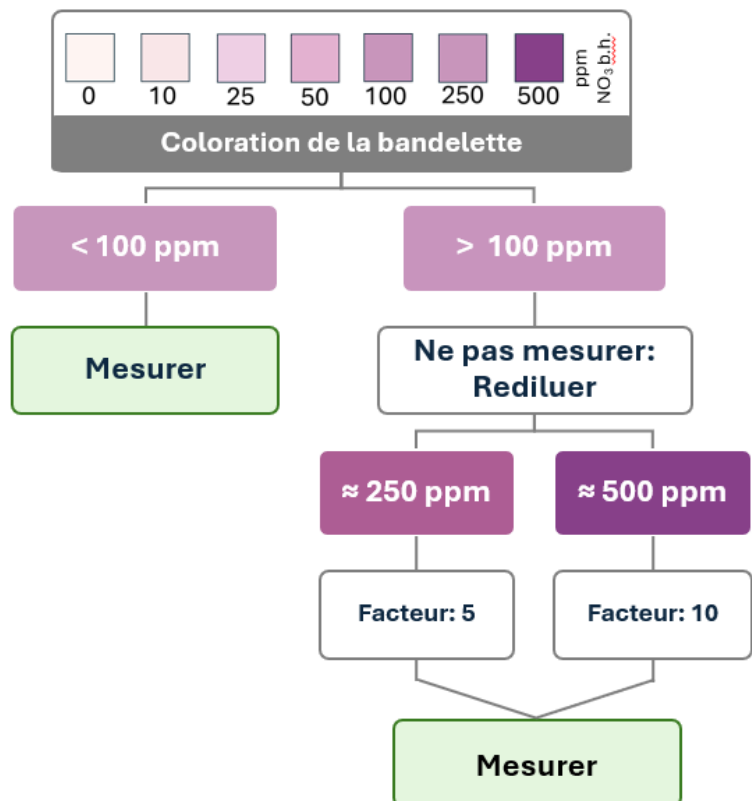
Certains facteurs peuvent influencer vos résultats si une calibration en fonction des lots n'est pas réalisée :

- L'épaisseur du buvard
- La réactivité de la bandelette
- L'âge des bandelettes
- Un défaut de fabrication

Figure 5 : Évaluation visuelle pour mesurer une bandelette en fonction sa coloration



Crédit : MAPAQ



Crédit : MAPAQ

L'arbre décisionnel se lit selon les règles suivantes :

- A. Si la couleur de la bandelette **correspond à moins de 100 parties par million (ppm) de NO_3^-** , vous pouvez insérer la bandelette dans l'appareil.
- B. Si la **coloration correspond à plus de 100 ppm de NO_3^-** , il est préférable de ne pas lire la bandelette. Vous pourriez contaminer le porte-échantillon de votre lecteur. De plus, l'échantillon ne sera pas dans l'intervalle de précision maximale de l'appareil.

On recommande alors de :

- Diluer de nouveau la solution déjà extraite¹².
- Noter le 2^e facteur de dilution pour vos calculs et diluer à nouveau votre volume de solution réservé en fonction de vos nouveaux calculs de dilution.
- Mesurer la nouvelle solution avec une bandelette et l'appareil en suivant la même méthode qu'à l'étape 1.

¹² Pour déterminer le 2^e facteur de dilution, estimez le résultat à obtenir qui devrait idéalement se situer dans l'intervalle de précision maximale de l'appareil entre 3 et 100 ppm NO_3^- . Voir l'annexe 1 pour un rappel sur les notions de dilution.

Tableau 1 : Scénarios de dilution de l'échantillon et cas possibles de coloration de bandelette

Étape 1 : Dilution initiale				
Suggestion de mélange pour la 1 ^{re} dilution/broyage	50 g b.h. de tige + 450 ml d'eau exempte de nitrate 1 ^{er} facteur de dilution : 10			
Scénario de coloration	Coloration sous 100 ppm		Coloration au-dessus de 100 ppm	
	Cas 1 : pas de coloration	Cas 2 : coloration sous 100 ppm	Cas 3 : Autour de 250 ppm NO ₃ ⁻	Cas 4 : Plus de 500 ppm NO ₃ ⁻
	Mesurez la bandelette avec l'appareil		Ne pas mesurer et appliquer un 2 ^e facteur de dilution	
Étape 2 : Deuxième dilution, si nécessaire				
Suggestion de mélange pour la 2 ^e dilution	Sans objet	Sans objet	Appliquez un facteur de dilution : 5 50 ml du filtrat + 200 ml eau exempte de nitrate	Appliquez un facteur de dilution : 10 50 ml du filtrat + 450 ml eau exempte de nitrate
			Mesurez la bandelette avec l'appareil après la 2 ^e dilution	
Informations finales pour le calcul et l'interprétation des résultats				
Facteur de dilution à utiliser pour les calculs ¹³	Facteur de dilution finale : 10	10 x 5 = 50	10 x 10 = 100	
		Facteur de dilution finale : 50	Facteur de dilution finale : 100	
Étape 3 : Réaliser les calculs et interpréter				
Référez-vous à la section sur les calculs et l'interprétation.				
Si l'appareil indique « LO » dans le cas où la bandelette ne colore pas, cela signifie que la mesure est sous la limite de détection de l'appareil de 3 ppm. Il n'est pas utile de broyer votre échantillon avec un facteur de dilution moindre ¹⁴ . Considérez le résultat à 0 ou sous la limite de détection de l'appareil.				

¹³ (facteur 1 X facteur 2) = facteur réel de dilution

¹⁴ Si nous mesurons 3 ppm de nitrate avec un facteur de dilution de 10 et un taux de matière sèche moyen de 25 % des tiges, la concentration en N-NO₃ b.s. équivaut à 27 ppm N-NO₃. La catégorie de diagnostic est alors faible, c'est-à-dire sous les 750 ppm N-NO₃ b.s.

Calculer la teneur en nitrate résiduel dans les tiges

Utilisez un fichier Excel pour cumuler vos données de tests de nitrate. La formule ci-dessous permet de convertir les mesures du Nitrachek pour l'interprétation sur une base sèche d'azote nitrique (N-NO₃ b.s.).

$$\frac{(\text{Résultat Nitrachek (ppm NO}_3^- \text{ b.h.)}) \times ((\text{facteur de dilution 1}) \times (\text{facteur de dilution 2}))}{\text{Taux de matière sèche des tiges}} \times \text{Facteur d'équivalence} = \text{Teneur en azote nitrique (N-NO}_3^- \text{) ppm b.s. des tiges}$$

Étapes de calcul

1. Obtenir la teneur en nitrate (NO₃⁻) en base humide de la tige

Multipliez votre résultat par tous les facteurs de dilution que vous avez utilisés pour obtenir la concentration réelle de nitrate en b.h. Le premier facteur de dilution de 10 (50 g de tiges/500 ml du volume total) permet d'obtenir la teneur en nitrate en base humide dans la tige. Les autres facteurs permettent de diluer à nouveau votre solution, le cas échéant. Voici la formule :

$$(\text{Résultat Nitrachek (ppm NO}_3^- \text{ b.h.)}) \times ((\text{facteur de dilution 1}) \times (\text{facteur de dilution 2})) = \text{Teneur en ppm de NO}_3^- \text{ b.h. des tiges}$$

Exemple de calcul

Lecture de la bandelette Nitrachek après deux dilutions : 35 ppm NO₃⁻

1^{er} facteur de dilution : 10

2^e facteur de dilution : 5

$$(35 \text{ ppm de NO}_3^-) \times (10) \times (5) = 1\,750 \text{ ppm de NO}_3^- \text{ b.h.}$$

2. Obtenir la teneur en nitrate sur base sèche dans les tiges

Voici la formule :

$$\frac{\text{Teneur en nitrate (NO}_3^- \text{) ppm b.h. des tiges}}{\text{Taux de matière sèche des tiges}} = \text{Teneur en nitrate (NO}_3^- \text{) ppm b.s. des tiges}$$

Exemple de calcul

Teneur en nitrate (NO₃⁻) ppm b.h. : 1 750

Taux de matière sèche calculé : 0,20 (20 % MS)

$$\frac{1\,750 \text{ ppm de NO}_3^- \text{ ppm b.h.}}{0,20} = 8\,750 \text{ ppm de NO}_3^- \text{ b.s. des tiges}$$

3. Convertir la teneur en nitrate (NO_3^-) en base sèche en azote nitrique (N-NO_3)

Le facteur d'équivalence est le suivant :

Facteur d'équivalence	
$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N-NO}_3$	X 0,226 ¹⁵

Voici la formule :

$$\begin{aligned} & \text{Teneur en nitrate } (\text{NO}_3^-) \text{ ppm base sèche} \times \text{Facteur d'équivalence (0,226)} \\ & = \text{Teneur en azote nitrique } (\text{N-NO}_3) \text{ ppm b.s. des tiges} \end{aligned}$$

Exemple de calcul

Teneur en nitrate (NO_3^-) ppm b.s. : 8 750

Facteur d'équivalence : 0,226

$$8\,750 (\text{NO}_3^-) \text{ ppm b.s.} \times 0,226 = 1\,978 (\text{N-NO}_3) \text{ ppm b.s. des tiges}$$

Le résultat final pour l'interprétation est donc de **1 978 ppm N-NO₃ b.s.**

¹⁵ Le facteur d'équivalence tient compte du pourcentage d'azote (N) dans la molécule NO_3 . Sachant que le poids atomique de 1 N (azote) = 14 et 1 O (oxygène) = 16. Celui de NO_3 est $14 + (3 \times 16) = 62$. La proportion de N dans NO_3 est donc de $14/62 = 0,2258$.

Interprétation des résultats

Tableau d'interprétation de la teneur de nitrate (ppm N-NO₃ b.s.) résiduel dans la tige de maïs à la récolte

Résultat de nitrate résiduel (ppm N-NO ₃ b.s.) dans la tige	Interprétation et causes potentielles
<p>< 250 ppm</p> <p>Forte probabilité de carence en azote</p>	<p>A) Le rendement est nettement en deçà des attentes (situation la plus probable)</p> <p>Interprétation : Les plants ont eu de la difficulté à prélever suffisamment d'azote du sol incluant celui provenant du précédent cultural, des amendements organiques, des engrais, etc.</p> <p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Apport insuffisant d'azote; 2) Mauvais choix de formulation d'azote et de période d'application 3) Précipitation extrêmement abondante au moment où la majorité de l'azote était sous forme de nitrate (lessivage et dénitrification) 4) Contrainte physique à l'assimilation d'azote : restriction dans les racines telles que la compaction, le trouble d'enracinement, le manque d'activité biologique, le manque d'humidité et la sécheresse 5) Contrainte chimique du sol tel que le pH ou un déséquilibre entre les éléments mineurs ou majeurs dans le sol qui peut limiter la capacité de la plante à assimiler de l'azote ou d'autres éléments par la plante (ex. : Baril de Liebig). <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Les plants sont vert pâle et les feuilles montrent des symptômes de carence jusqu'à l'épi ou au-dessus de l'épi. Les épis sont très courts et sans grain au bout. Ils peuvent être difformes avec des grains épars s'ils ont d'autres carences en plus de celle de l'azote.</p> <p>B) Le rendement est conforme aux attentes (situation possible, mais peu probable)</p> <p>Interprétation : Les plants ont possiblement eu de la difficulté à prélever suffisamment d'azote au sol lors du pic de croissance, mais la réserve de nitrate de la tige a été suffisante pour compenser le manque de fourniture du sol.</p>

	<p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Apport suffisant d'azote, mais le choix de formulation et la période d'application n'étaient pas optimaux pour la culture 2) Saison de culture extrêmement pluvieuse (conditions inhabituelles) <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Les plants sont vert foncé. Les 5 ou 6 premières feuilles montrent des symptômes de carence. Les épis sont de bonne longueur et généralement remplis jusqu'au bout.</p>
<p>250 – 700 ppm</p> <p>Probabilité que nous soyons à la limite entre la sous-fertilisation et la fertilisation optimale ou qu'il y ait eu un épisode de carence en azote</p>	<p>A) Le rendement est en deçà des attentes</p> <p>Interprétation : Les plants ont probablement connu un épisode de carence. La plante n'a pas reçu tout l'azote nécessaire pour ses besoins physiologiques. Bien que la plante ait pu faire des réserves, les conséquences de la carence étaient déjà présentes.</p> <p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Mauvais choix de formulation d'azote ou de période d'application 2) Précipitation extrêmement abondante au moment où la majorité de l'azote était sous forme de nitrate (lessivage et dénitrification); 3) Contrainte physique à l'assimilation d'azote : restrictions au niveau des racines telles que la compaction, le trouble d'enracinement, le manque d'activité biologique, le manque d'humidité ou la sécheresse 4) Contrainte chimique du sol tel que le pH, la déficience, un déséquilibre des éléments mineurs ou majeurs qui peuvent interagir avec la capacité d'assimiler les autres éléments (ex. : le chlore est antagoniste aux nitrates (Diagramme de Mulder)). <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Souvent, les plants sont vert pâle et d'autres sont plus foncés. Les feuilles présentent des symptômes de carence d'azote jusqu'à l'épi. Les épis sont majoritairement courts et n'ont pas de grains au bout. S'il y a des carences autres que l'azote comme le phosphore, le potassium, le bore, du stress hydrique, thermique ou un problème de pollinisation, les épis peuvent être difformes et avoir des grains épars.</p> <p>B) Le rendement est conforme aux attentes (situation possible, mais peu probable)</p> <p>Interprétation : Les plants ont possiblement eu de la difficulté à prélever suffisamment d'azote du sol lors du pic de croissance, mais la réserve de nitrate de la tige a été suffisante, laissant un léger résiduel.</p>

	<p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Apport probablement suffisant d'azote, mais la formulation et la période d'application ont peut-être besoin d'être améliorées 2) Saison de culture extrêmement pluvieuse <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Les plants sont vert foncé. Quelques feuilles en dessous de l'épi peuvent montrer des symptômes de carence et les premières sont desséchées. Les épis sont d'une bonne longueur et généralement remplis jusqu'au bout.</p>
<p>700 – 2000 ppm</p> <p>Bonne probabilité de fertilisation optimale</p>	<p>A) Le rendement est conforme aux attentes (situation la plus probable)</p> <p>Interprétation : La quantité d'azote apportée est optimale d'un point de vue économique.</p> <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Les trois à cinq premières feuilles sont desséchées. Les feuilles en haut de l'épi devraient être vert foncé. Les épis sont bien remplis; leur longueur et leur diamètre sont optimaux et constants.</p> <p>B) Le rendement est nettement en deçà des attentes (situation peu probable).</p> <p>Interprétation : Les plants ont connu un épisode de carence. Bien qu'ils aient eu accès à de bonnes quantités d'azote, la synchronisation entre les besoins et la fourniture n'était pas optimale.</p> <p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Mauvais choix de formulation d'azote ou de période d'application 2) Engrais organique trop lent à minéraliser ou qui cause de l'immobilisation d'azote (ex. : engrais organique avec C/N au-dessus de 30 et dans de mauvaises conditions de minéralisation – froid, saturation en eau) 3) Mauvais drainage qui cause la mort racinaire ou un sol compacté 4) Présence de ravageurs, de maladies ou d'un mauvais contrôle des plantes adventices. <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Généralement, les plants sont vert foncé et les tiges de faible diamètre, soit de moins de 2 cm. Les épis sont courts ou de faible diamètre, mais généralement remplis.</p>

<p>> 2000 ppm</p> <p>Forte probabilité de fertilisation excessive</p>	<p>A) Le rendement est conforme aux attentes (situation la plus probable).</p> <p>Interprétation : La quantité d'azote est excessive. Pour du maïs d'ensilage, il sera opportun de déterminer la quantité de nitrate présent dans l'ensilage afin d'en réduire l'apport aux animaux en le mélangeant avec d'autres fourrages. On pourrait aussi recourir à cet ensilage pour nourrir des groupes d'animaux moins vulnérables.</p> <p>Apparence visuelle à maturité physiologique : Les plants sont vert foncé et souvent, les premières feuilles sont encore vertes. Les épis sont bien remplis; leur longueur et leur diamètre sont optimaux et constants. Le contenu trop élevé en azote des tiges peut également retarder le séchage du grain sur l'épi et ramener plus d'humidité dans la batteuse à la récolte.</p> <p>Causes : Le maïs a eu un accès constant à de l'azote. Il a fait des réserves, mais n'en a pas eu besoin. Souvent, de bonnes quantités de nitrate seront présentes dans le sol à l'automne.¹⁶ Les nitrates du sol et des tiges seront lessivés ou dénitrifiés avant la prochaine saison de culture.</p> <p>B) Le rendement est nettement en deçà des attentes (situation très peu probable).</p> <p>Interprétation : Les plants ont connu un épisode de carence. Ils ont eu accès à de grandes quantités d'azote, mais la saison de croissance était presque terminée.</p> <p>Causes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Mauvais choix de formulation d'azote ou de période d'application 2) Engrais organique plus lent à minéraliser ou qui cause de l'immobilisation d'azote (ex. : engrais organique avec C/N au-dessus de 30 et dans de mauvaises conditions de minéralisation – froid, saturation en eau, des résidus de culture à très haut C/N); 3) Mauvais drainage qui entraîne la mort racinaire ou la sécheresse 4) Présence de ravageurs, de maladies ou d'un mauvais contrôle des plantes adventices. <p>Apparence visuelle : Généralement, les plants sont vert foncé, mais les tiges ont un petit diamètre. Les épis sont courts ou de faible diamètre, mais généralement remplis.</p>
--	--

¹⁶ Consulter le document test de nitrate semi-quantitatif sur sol humide dans la culture du maïs-grain.

Facteurs influençant l'interprétation agronomique des résultats

Il est impossible de prédire visuellement la teneur en nitrate d'une tige. Seule une analyse semi-quantitative par broyage permet d'en évaluer le niveau. Pour interpréter correctement les résultats du test de nitrate dans les tiges de maïs, il est essentiel de documenter l'état de la culture au moment de l'échantillonnage. Cela permet une interprétation plus précise, directement liée au rendement de la culture. Il est donc important d'évaluer si d'autres facteurs ont pu influencer la performance du maïs. Le test de nitrate de tige pourrait être jumelé à d'autres outils de diagnostic tel que le profil de sol.

Voici une liste d'éléments à examiner pour résoudre une problématique récurrente :

- Régie de culture : rotation des cultures, travail du sol, précédent cultural.
- Apport azoté : type (engrais organiques, décomposition de la matière organique fraîche, cultures de couverture, engrais minéraux, technologies), moment d'application (synchronicité entre besoins et apports), dose, emplacement et fractionnement.
- Physique du sol : structure, compaction, nivellement, drainage et texture.
- Chimie du sol : analyse, pH, équilibre entre les éléments chimiques.
- Conditions de croissance : climat, date de semis, UTM, précipitations, ravageurs, maladies, compétition, etc.

Rendements et qualité de la récolte

Des rendements décevants observés lors du battage peuvent indiquer une fertilisation azotée insuffisante. Toutefois, d'autres facteurs peuvent aussi avoir limité le potentiel de rendement du maïs.

En plus des tests de tige, il est recommandé d'évaluer le rendement de manière indépendante. Par exemple, recueillir les épis des plants sur lesquels les tiges ont été prélevées permet d'enrichir l'évaluation visuelle et même de quantifier l'interprétation. Idéalement, les épis devraient être uniformes et d'un bon poids pour votre région.

Une hétérogénéité dans la taille des épis peut révéler une levée inégale. Les plants plus avancés peuvent dominer les plus petits, menant à une population sous-optimale. Documenter la densité de population peut donc s'avérer pertinent pour identifier les causes d'un rendement insatisfaisant.

Une variabilité des épis selon les zones du champ peut aussi indiquer des problèmes localisés, comme la compaction ou un mauvais drainage. Ces éléments doivent être examinés.

Phytoprotection des cultures

La présence de ravageurs tels que le ver gris occidental (VGOH), la chrysomèle des racines et la pyrale qui cause des dommages sur les plants, peut avoir un impact significatif sur le rendement indépendamment de la fertilisation azotée.

L'évaluation des épis permet de détecter des maladies fongiques telles que l'antracnose ou le fusarium. La présence de ces agents infectieux peut également être détectée dans les tiges que vous avez récoltées.

Par ailleurs, la compétition par les plantes adventives pourrait être en cause.

Finalement, les dommages causés par les rats laveurs peuvent être significatifs dans les petits champs attenants à des boisés.

Historique des champs, régie de culture et saison de culture

Il est recommandé de constituer un historique de suivis pour chacun des champs sur une période minimale de deux années avant d'apporter des modifications majeures à son programme de fertilisation. Cela permet de mieux interpréter les résultats, surtout si des événements météorologiques extrêmes (sécheresse, pluies abondantes) ont eu lieu.

Un suivi rigoureux permet de tirer des conclusions plus précises en mettant en corrélation les mesures de nitrates résiduels dans les tiges avec les rendements obtenus. Le test de tige peut être répété les années suivantes pour valider une nouvelle stratégie de fertilisation visant à réduire l'usage d'azote tout en maintenant les rendements.

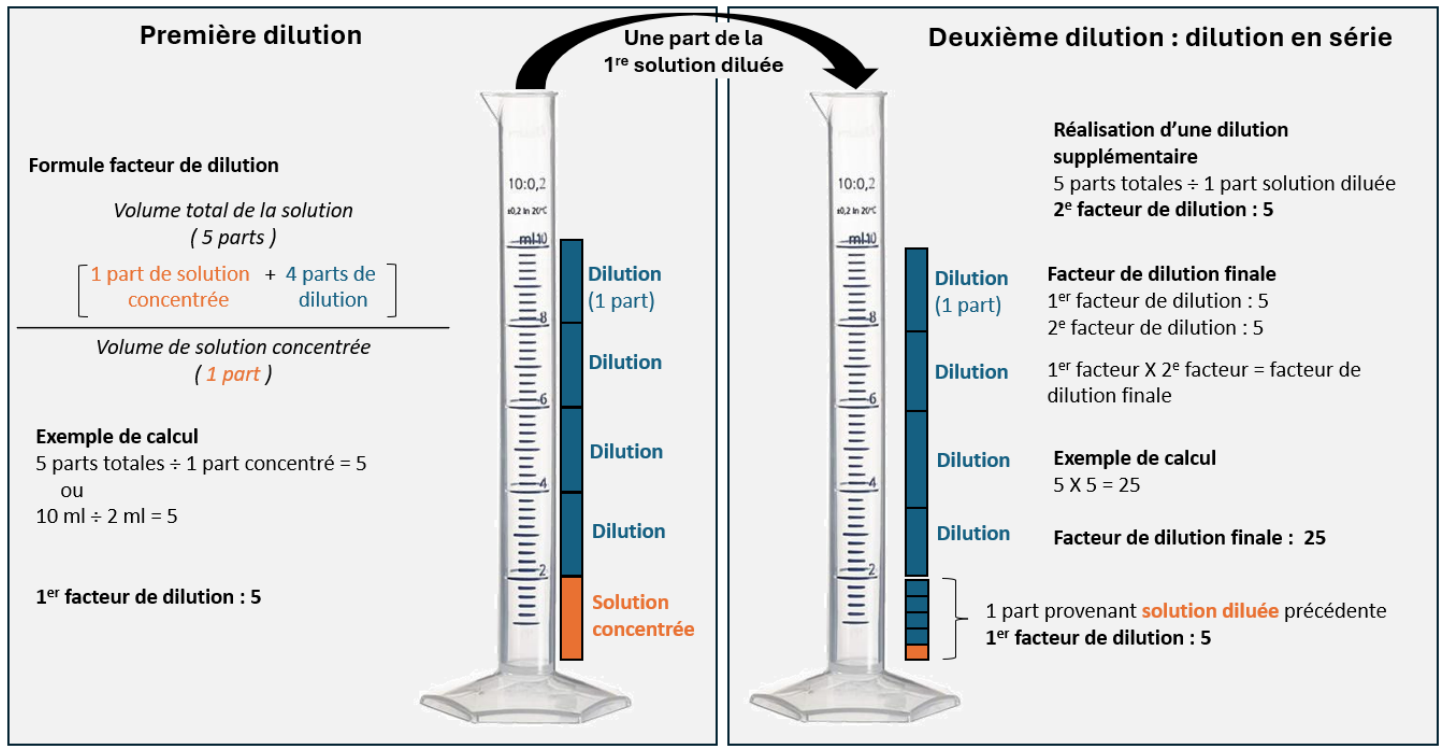
Annexe 1 : Rappel des notions de dilution

Dans l'explication ci-dessous :

- **Solution concentrée** = filtrat obtenu après le broyage
- **Dilution/diluant** : eau distillée ou exempte de nitrate

Comment calculer le volume d'eau distillée pour appliquer un facteur de dilution?

Étapes	Formules	Exemple
Déterminez et notez le volume de solution concentrée que vous allez utiliser. Cette quantité équivaut à une part du volume total.		2 ml (1 part)
Déterminez le facteur de dilution . Il représente le total de parts du volume total.		5 (5 parts)
Calculez le volume total de la solution diluée.	Volume solution concentrée x facteur de dilution = volume total de la solution	2 ml x 5 = 10 ml (5 parts)
Calculez le volume de diluant à ajouter.	Volume total de la solution diluée – volume de solution concentrée = volume de diluant à ajouter	10 ml - 2 ml = 8 ml (4 parts)



Annexe 2 : Fichier de saisie de données pour les tests de broyage de tige

Test de nitrate des tiges - automne

Date : _____

Nom de la personne qui réalise les tests : _____

lot utilisé : _____

#	Nom de l'échantillon	Test broyage						Bandelette/commentaires
		Test des tiges			Matière sèche			
		Facteur(s) de dilution		Lecture Nitrachek NO ₃ (ppm) (b.h.)	Poids du contenant (grammes)	Poids initial (grammes) (humide)	Poids final (grammes) (sec)	
		1 ^{er}	2 ^e					
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Références

Méthode de mesure de la tige

- BEEGLE, D. *Late Season Cornstalk Nitrate Test*, PennState Extension. En ligne : <https://extension.psu.edu/late-season-cornstalk-nitrate-test>
- BLACKMER, A., et MALLARINO, A. *Cornstalk testing to evaluate Nitrogen management*, Iowa State University Extension, août 1996. En ligne : https://ucanr.edu/sites/Nutrient_Management_Solutions/files/259264.pdf
- BROUDER, S. *Cornstalk Testing to Evaluate the Nitrogen Status of Mature Corn : Nitrogen Management Assurance*, Perdue University Extension, 2003. En ligne : <https://edustore.purdue.edu/ay-322-w.html>
- IOWA STATE UNIVERSITY. *Cornstalk Nitrate Testing*, 2015. En ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=uFJZIdulHKO>
- LAWRENCE, J., et autres. *Corn Stalk Nitrate Test (CSNT) - Fact sheet 31*, Cornell University, 2013. En ligne : <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet31.pdf>
- NASIELSKI, J., et autres. *Luxury Vegetative Nitrogen Uptake in Maize Buffers Grain Yield Under Post-silking Water and Nitrogen Stress : A Mechanistic Understanding*, Frontiers in Plant Science, mars 2019. En ligne : <https://www.frontiersin.org/journals/plant->
- KAISER, D., et FERNANDEZ, F. *How to take and interpret the basal stalk nitrate test*, University of Minnesota extension, janvier 2024. En ligne : <https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2020/09/how-to-take-and-interpret-basal-stalk.html>
- KETTERINGS, Q. *Corn Stalk Nitrate Test (CSNT) - Are Chages in N mangement Needed?*, Cornell University, août 2016. En ligne : <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/StalkNtest2016.pdf>
- KETTERINGS, Q. *Corn Stalk Nitrate Test (CSNT) - sheet*, Cornell University Nutrient Management Spear Program, En ligne : https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fnmsp.cals.cornell.edu%2Fs_ofware%2FSpearCSNTsheet.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK
- LABOSKI, C. *Considerations when using the end-of-season corn stalk nitrate test*, University of Wisconsin-Madison, 2010. En ligne : <https://uwlab.webhosting.cals.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/17/2011/06/stalk-nitrate-test.pdf>
- SAWYER, J. *Corn Stalk Nitrate Interpretation*, Iowa State University, 2010. En ligne : <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2010/09/corn-stalk-nitrate-interpretation>
- VILLENEUVE, G. *Cours : Méthode de mesure des nitrates du sol et de tissus végétaux (FSPA120)*, Institut de technologie agroaliment, 78 p., 2023

Concept de fertilisation

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC, *Guide de référence en fertilisation*, 2e édition, 2013. En ligne : <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-de-reference-en-fertilisation-2e-edition-actualisee/p/PSOL0104-PDF>

KHIARI, L. *Guide technique : Échantillonnage conventionnel des sols agricoles au Québec, de la planification à l'envoi au laboratoire*, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2014. En ligne : [Échantillonnage conventionnel des sols agricoles au Québec – De la planification à l'envoi au laboratoire](#)

Quirine, K., et autres. *Adaptive Nitrogen Management for Field Crops in New York*. Cornell University, Ithaca NY, 2023. En ligne : <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/extension/AdaptiveNitrogenManagement2023.pdf>

VILLENEUVE, G. *Cours : Notion de base pour faire le suivi de l'évolution de l'azote en grande culture*, Institut de technologie agroalimentaire du Québec, 2023.

GOLDY, R. *More reasons for soil testing*, Michigan State University Extension, 2016. En ligne : https://www.canr.msu.edu/news/more_reasons_for_soil_testing

WIKIPÉDIA. *Loi de Liebig sur le minimum*. En ligne : https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Liebig_sur_le_minimum

Appareil de mesure

CHALLENGE AGRICULTURE. *Cahier de savoir-faire A11, Nitrachek 404*. En ligne : <https://www.challenge-agriculture.fr/wp-content/uploads/2019/12/Nitrachek-404-A11.pdf>

Facteurs biotiques (malherbologie)

HARTZLER, B. *Impact of Early-Season Weed Competition On Corn Nitrogen Needs*, Iowa State University. En ligne : <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/impact-early-season-weed-competition-corn-nitrogen-needs>

HARTZLER, B. *Managing weeds to protect crop yields*, Iowa state University. En ligne : <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/managing-weeds-protect-crop-yields>

KNIGHT, A., EVERMAN, W., JORDAN, D., HEINIGER, R., et SMYTH, T. *Interactions of Nitrogen Source and Rate and Weed Removal Timing Relative to Nitrogen Content in Corn and Weeds and Corn Grain Yield*, International Scholarly Research Notices, avril 2017. En ligne : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2017/8961367>

Facteurs biotiques (insectes et maladies)

CANADIAN CORN PEST COALITION. *La coalition canadienne contre les ravageurs du maïs*. En ligne : <https://cornpest.ca/ravageurs-du-mais/?lang=fr#:~:text=La%20pyrale%20du%20ma%C3%AFs%2C%20Ostrinia,autres%20cultures%20h%C3%B4tes%20au%20Canada>

OMAFRA. *Guide agronomique des grandes cultures*, Chapitre 15 : Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures, 2022. En ligne : <https://www.ontario.ca/files/2022-10/omafra-agronomy-guide-for-field-crops-chapter-15-fr-2022-10-13.pdf>

RÉSEAU D'AVERTISSEMENT PHYTOSANITAIRE GRANDES CULTURES. *Fiche technique: Ver-gris occidental des haricots dans le maïs (grain et ensilage)*, 2018. En ligne : <https://www.agrireseau.net/rap/documents/96011/grandes-cultures-fiche-technique-ver-gris-occidental-du-haricot-dans-le-mais>

RÉSEAU D'AVERTISSEMENT PHYTOSANITAIRE GRANDES CULTURES. *Fiche technique | Stratégie de prévention contre la résistance de la chrysomèle des racines du maïs au maïs Bt*, 2021. En ligne : <https://www.agrireseau.net/rap/documents/104051/grandes-cultures-fiche-technique-strategie-de-prevention-contre-la-resistance-de-la-chrysomèle-des-racines-du-mais-au-mais-bt>

RÉSEAU D'AVERTISSEMENT PHYTOSANITAIRE GRANDES CULTURES. *Fiche technique | Les moisissures de l'épi du maïs-grain*, 2024. En ligne : <https://www.agrireseau.net/rap/documents/101060/grandes-cultures-fiche-technique-les-moisissures-de-l-epi-du-mais-grain>

RÉSEAU D'AVERTISSEMENT PHYTOSANITAIRE GRANDES CULTURES. *Fiche technique | Maïs : évaluation de la santé des tiges à l'automne et dépistage des maladies*, 2024. En ligne : <https://www.agrireseau.net/rap/documents/109674/grandes-cultures-fiche-technique-mais-evaluation-de-la-sante-des-tiges-a-l-automne-et-depistage-des-maladies>

Physiologie végétale

ORTEZ, O. *Abnormal Ears in Corn—When and Why Do They Develop?*, The Ohio State University, 2023. En ligne : <https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-0139>

ORTEZ, O. *Other Corn Ear Abnormalities – when and why do they develop?*, Ohio State University Extension, 2024. En ligne : <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/2022-24/other-corn-ear-abnormalities-%E2%80%93-when-and-why-do-they-develop>

ORTEZ, O. et autres. *Abnormal ear development in corn : A review*, Agronomy Journal, 2021. En ligne : <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/agj2.20986>

RITCHIE, S.W. et autres. *How a Corn Plant Develops*, Iowa State University, 1986. En ligne : <https://publications.iowa.gov/18027/1/How%20a%20corn%20plant%20develops001.pdf>

Régie de cultures

RÉSEAUPHYTOSANITAIRE GRANDES CULTURES. Fiche technique | *Grandes cultures : rendement du maïs-grain et densité de peuplement*, 2014. En ligne : <https://www.agrireseau.net/rap/documents/98741/grandes-cultures-fiche-technique-rendement-du-mais-grain-et-densite-de-peuplement>

Nitrate dans l'ensilage du maïs

SASKATCHEWAN. *Nitrate Toxicity*. En ligne : <https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/livestock/animal-health-and-welfare/nitrate-toxicity>

RASBY, R. et autres. *Nitrates in Livestock Feeding*, University of Nebraska-Lincoln Extension, 2014. En ligne : <https://rangemanagement.extension.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/42/2018/08/Nitrates-UNL.pdf>

ROOZEBOOM, K. et autres. *Nitrate Toxicity*, Kansas State University, 2011. En ligne : https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/nitrate-toxicity_MF3029.pdf

STALKER, M., et autres. *Acute nitrate toxicosis in Holstein heifers*, Animal Health Laboratory, 2019. En ligne : <https://www.uoguelph.ca/ah/contant/acute-nitrate-toxicosis-holstein-heifers>

THOMPSON, L. J. *Nitrate and Nitrite Poisoning in Animals*, Merck manual, Veterinary manual, septembre 2024. En ligne : <https://www.merckvetmanual.com/toxicology/nitrate-and-nitrite-poisoning/nitrate-and-nitrite-poisoning-in-animals>

