



# Fiche technique

Détermination du Statut Nutritionnel du Maïs (Zea mays) par le  
Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS)



**Dr Ir. Gustave D. DAGBENONBAKIN**  
Chargé de Recherche (CAMES)

**Dr Ir. André Jonas DJENONTIN**  
Chargé de Recherche (CAMES)

**Dr Ir. Nestor AHOYO ADJOVI**  
Attaché de Recherche (INRAB)

**Prof. Dr Ir. Mouinou Attanda IGUE**  
Maître de Recherche (CAMES)

**Prof. Dr Ir. Guy Apollinaire Mensah**  
Maître de Recherche (CAMES)

Dépôt légal N°6528 du 18/01/2013, 1er trimestre 2013,  
Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin  
ISBN: 978-99919-1-229-5

## **Préface**

Combattre la dégradation des sols est une préoccupation constante pour la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté de nos populations. Dans cette situation les disponibilités en terres agricoles s'amenuisent d'année en année à cause de l'extension des emblavures en faveur de la culture cotonnière. Dans le même temps la nécessité de produire plus pour assurer la sécurité alimentaire et le développement économique se fait de plus en plus pressante. Il s'avère alors urgent d'intensifier la production tout en assurant la pérennité des ressources naturelles. Cette intensification a été partielle et inégale selon les cultures. En conséquence, dans les anciens bassins cotonniers, apparaissent des problèmes techniques montrant que la durabilité des systèmes de culture n'est actuellement pas assurée. La fertilisation du cotonnier illustre bien ce scénario où peu de fertilisants organiques et peu d'engrais minéraux sont appliquées. Cette pratique à contrario des recommandations sur le cotonnier dans un contexte de fertilisation minérale sur les autres cultures a généré l'apparition de déficiences minérales en potassium, magnésium et calcium dans les vieux bassins cotonniers. Ce constat est confirmé par des diagnostics menés dans différentes régions du Bénin et qui identifient la baisse de la fertilité des sols comme une contrainte majeure au développement agricole durable. Pour améliorer la production céréalière au Bénin, il importe de développer des techniques assez précises de diagnostic de la fertilité des sols et de recommandation de fumure. La mise en œuvre de la méthode du système intégré de diagnostic et de recommandation (DRIS) sur le maïs fournit des normes de nutriments pour cette culture. Cette méthode peut servir d'outil de base aux agents de vulgarisation pour l'appui-conseil aux producteurs agricoles du Bénin. Cette contribution de l'équipe de chercheurs apporte un plus pour l'amélioration de la production du maïs et je garde espoir que cet outil sera réellement tant à la disposition, des techniciens spécialisés et des conseillers en production végétale que des chercheurs.

**Prof. Dr DVM Delphin Olorounto KOUDANDE**

Maître de Recherches (CAMES)  
Directeur Scientifique  
Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

## Introduction

L'analyse chimique du matériel végétal est un outil utilisable par l'agronome pour l'appréciation de l'alimentation minérale de la plante. Cependant, l'analyse foliaire n'est fiable que pour évaluer le statut nutritionnel des plants que si seulement si une méthode adéquate est employée (Walworth et Sumner, 1987). La méthode de la valeur critique est utilisée pour évaluer le bilan nutritionnel des plants de maïs. Cette méthode stipule que les nutriments dont les concentrations sont au-delà ou en dessous des valeurs critiques sont associés au retard de croissance de la plante, et à la baisse de la production et de la qualité des produits (Beaufils et Sumner, 1977 ; Lagenegger *et al.*, 1978). Beaufils (1973) et Walworth et Sumner (1987) proposent une méthode alternative qui est le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS : Diagnosis and Recommendation Integrated System) pour évaluer l'état nutritionnel des végétaux. Cette nouvelle méthode utilise la comparaison des ratios de pairs de nutriments avec des normes développées dans une population de rendements élevés. Elle permet de diagnostiquer les déséquilibres de nutriments et présente des avantages sur les autres méthodes de diagnostic (Agbangba *et al.*, 2011a ; Agbangba *et al.*, 2011b ; Dagbenonbakin *et al.*, 2012).

Le système Intégré de Diagnostic et de Recommandation est moins sensible à la variation de l'échantillonnage foliaire dû à l'âge de la plante ou au rang de la feuille. Ainsi, il permet l'utilisation d'une gamme variée de tissus. Au Bénin, le maïs est la principale céréale cultivée et contribue à assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. Pourtant, il n'existe pas encore une gestion efficace de la nutrition minérale de la plante basée sur des résultats de recherche. La production du maïs est aussi sujette à de nombreuses contraintes dont entre autres la fertilisation adéquate du sol pour une meilleure nutrition de la culture (Djènotin *et al.*, 2012). Cette contrainte est liée entre autres à la non disponibilité d'un engrais spécifique pour la culture du maïs. La présente fiche technique décrit la méthodologie du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation en l'illustrant avec la culture du maïs au Bénin. Elle présente quelques résultats et des implications pour le développement pour la culture du maïs afin de rationaliser la fertilisation minérale de cette culture.

## 1. Matériels et méthodes

### 1.1. Matériels

La plante test utilisée au cours de l'expérimentation est le maïs de variété DMR-ESR-W fournie par le Centre de Recherche Agricole Nord. Son cycle de développement est de 95 à 100 jours. Les autres matériels utilisés sont les suivants : un Global Positioning System (GPS) pour prendre les coordonnées géographiques des champs ; un cordeau et des piquets pour délimiter les champs; un coupe-coupe pour couper les piquets; des échantillons de feuilles prélevés et expédiés au laboratoire pour les analyses chimiques; des sachets pour y mettre des échantillons de végétaux et des produits de récolte prélevés; un cadre PVC de 4 m<sup>2</sup> utilisé pour la délimitation exacte des carrés de rendement; une balance électrique pour la pesée des échantillons au laboratoire; une étuve pour le séchage des échantillons avant leur broyage ; une balance mécanique pour la pesée sur le terrain des échantillons de produits de récolte.

Des prélèvements de feuilles sont réalisés à la floraison (FAO. 2000). Ces échantillons sont séchés à l'étuve à 65° puis broyés. Ils sont par la suite expédiés au Laboratoire d'analyse des sols et des végétaux de Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES) de l'Université de Bonn en Allemagne pour les analyses chimiques. A la récolte, trois carrés de rendement sont installés dans chaque parcelle paysanne pour la pesée de la production. Un sous échantillon est prélevé puis pesé et mis au séchage à l'étuve à 65°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant. Cette détermination est faite par parcelle pour l'estimation du rendement en matière sèche par producteur.

Le rendement de maïs est estimé selon la formule suivante :

$$R = p * n * \frac{P_{f_{\text{grain}}}}{P_{f_{\text{épis}}}} * \frac{Ms}{100} * \frac{10000}{4} * \frac{100}{86}, \text{ avec } Ms (\%) = \frac{P_s}{P_f} * 100 \text{ où :}$$

n = coefficient d'égrenage (rapport entre poids épis frais de l'échantillon);

Pf = Poids frais des cinq épis;

Ps = Poids sec des cinq épis;

Ms = Pourcentage de la matière sèche des épis;

P (en kg) = Poids frais des épis au niveau de la surface d'un cadre.

## 1.2. Méthodologie du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation

La population de rendement maïs est séparée en deux sous-populations de rendements en utilisant la moyenne des rendements additionnée à l'intervalle de confiance comme critère de subdivision (Beaufils, 1973 ; Dagbénobakin, 2005; Agbangba *et al.*, 2010; Dagbenonbakin *et al.*, 2010, Dagbenonbakin *et al.*, 2011). La sous-population de rendements élevés et supérieurs à 3,02 t/ha est de taille 81 et celle de rendements faibles et inférieurs à 3,02 t/ha est de taille 97. Le rapport entre les nutriments deux à deux par exemple N/P et P/N est calculé pour chacune des sous-populations. Pour chacune de ces formes de rapport, la variance dans les deux sous-groupes est calculée. Les ratios de variances de ces deux formes de rapport de nutriments sont calculés en divisant la variance du ratio de la population de rendement faible par celle de la population de rendement élevé pour la même forme de rapport (Amundson et Koehler, 1987). Pour chaque paire de ratio, celle qui donne la plus grande variance de rapport de variance est retenue pour l'évaluation des normes DRIS. Les moyennes et l'écart-type des paramètres de référence du sous-groupe de rendements élevés sont utilisés dans la formule suivante pour calibrer le modèle (Bailey *et al.* 1997):

$$X_{\text{indice}} = [f(X/A) + f(X/B) + \dots - f(M/X) - f(N/X) - \dots], \quad \text{où}$$
$$f(X/A) = 100[(X/A)/(x/a) - 1]/CV \quad \text{si } (X/A) > (x/a) + SD \quad \text{et}$$
$$f(X/A) = 100[1 - (X/A)/(x/a)]/CV \quad \text{si } (X/A) < (x/a) - SD.$$

Dans ces relations, X/A est le ratio des concentrations des nutriments X et A dans l'échantillon, tandis que x/a, CV et SD, sont respectivement la moyenne, le coefficient de variation et l'écart-type du paramètre X/A dans la sous-population de rendement élevé. Les autres ratios de nutriments X/B, M/X, N/X, etc., sont calibrés par rapport aux paramètres, x/b, m/x et n/x de référence du DRIS correspondant.

Le logiciel statistique Minitab est utilisé pour générer le modèle et le calcul des indices de nutriments se fait avec le tableur Excel.

## 1.3. Interprétation des indices de nutriments

Selon Kelling et Shulte (1986), un indice de nutriment entre -15 et 15 indique un bon équilibre nutritionnel, entre -15 et -25 indique une probable déficience et inférieur à -

25 indique une déficience du nutriment. Wadt (1996) dans sa méthode d'interprétation proposée et ayant l'avantage de déceler les excès de nutriments compare l'indice du nutriment ou par valeur absolue à l'indice d'équilibre nutritionnel (NBI). L'indice d'équilibre nutritionnel (NBI) est la moyenne de la distance à zéro de tous les indices de nutriments. Ainsi, pour N indices, la formule suivante est utilisée:

$$NBI = (| \text{Index A} | + | \text{Index B} | + \dots + | \text{Index N} |) / N., \text{ où}$$

NBI = indice d'équilibre nutritionnel; Index A = indice du nutriment A; Index B = indice du nutriment B; Index N = indice du nutriment N; N=nombre de nutriments

Selon Wadt, pour un nutriment Nut les conclusions suivantes sont tirées:

- Il existe une déficience si  $INut. < 0$  et  $|INut.| > NBI$ .
- C'est adéquat si  $|INut.| < NBI$ .
- Il existe un excès si  $|INut.| < NBI$ .

## 2. Résultats

### 2.1. Bilan nutritionnel et statut nutritionnel de la plante

Les résultats révèlent une adéquation d'azote (N), un excès de calcium (Ca), de soufre et de zinc (Zn) pour le maïs, variété DMR tableau 1). Les indices d'azote (N) et de potassium (K) sont compris entre les valeurs -15 et +15, et indique un bon équilibre de ces éléments nutritifs. Les indices de phosphore (P) et de magnésium (Ca) se situent entre les valeurs -21 et -25 et montrent alors une probable déficience en nutriments des plants. Par contre, le calcium (Ca), le soufre (S) et le zinc (Zn) sont en excès. En somme, pour le maïs. Les concentrations en calcium (Ca), soufre (S) et zinc (Zn) sont satisfaisantes alors que le phosphore (P) et le magnésium (Mg) sont déficients pour la culture du maïs dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.

**Tableau 1.** Indices de nutriments selon le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) le maïs

<b>Azote (N)</b>	<b>Phosphore (P)</b>	<b>Potassium (K)</b>	<b>Calcium (Ca)</b>	<b>Magnésium (Mg)</b>	<b>Soufre (S)</b>	<b>Zinc (Zn)</b>
-1,41	-20,49	-2,73	57,06	-22,96	24,65	34,11

A partir des normes (Tableau 2) du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS), pour obtenir un rendement optimal, les éléments minéraux

doivent se trouver dans un rapport donné dans la plante. Le modèle DRIS a permis de générer 21 normes de nutriments pour la variété DMR de maïs.

Les diagnostics établis par le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) constituent un guide indispensable dans la réussite de programme de fertilisation en culture maïsicole. Ainsi, les normes requises pour l'obtention des rendements compris entre 3,0 et 6,8 t/ha pour la variété DMR de maïs sont consignées dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Les 21 normes de nutriments générées par le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) pour le maïs

<b>Ratios choisis</b>	<b>P/N</b>	<b>N/K</b>	<b>P/K</b>	<b>N/Ca</b>	<b>Mg/N</b>	<b>N/S</b>	<b>Zn/N</b>	<b>P/Ca</b>	<b>Mg/P</b>	<b>P/S</b>	<b>Zn/P</b>
<b>Normes moyennes</b>	0,14	1,21	0,16	5,02	0,11	18,17	0,00	0,69	0,79	2,48	0,01
<b>Ratios choisis</b>	<b>K/Ca</b>	<b>Mg/K</b>	<b>K/S</b>	<b>Zn/K</b>	<b>Mg/Ca</b>	<b>Ca/S</b>	<b>Zn/Ca</b>	<b>Mg/S</b>	<b>Zn/Mg</b>	<b>Zn/S</b>	
<b>Normes moyennes</b>	4,34	0,12	15,78	0,00	0,47	4,34	0,00	1,80	0,01	0,01	

### 3. Implications pour le développement

Les normes DRIS établies dans cette étude peuvent servir de base au calibrage d'apport de fertilisant dans le programme de gestion de la fertilité des sols (GIFS). Les résultats obtenus avec le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) ont des implications agronomiques en terme d'amélioration de la nutrition minérale pour la culture de maïs dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.

### Conclusion

Le diagnostic de nutriments par le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS) permet de connaître le statut nutritionnel du maïs dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur. Un apport en phosphore (P) et en magnésium (Mg) est souhaitable pour maintenir des rendements élevés dans le temps.

### Remerciements

Les auteurs remercient tous les techniciens du Laboratoire d'analyse des Sols et de

plantes de l'INRES de l'Université de Bonn en Allemagne et les autorités du Projet IMPETUS pour avoir financé les activités de terrain ainsi que les coûts d'analyse. Ils remercient aussi les Prof. Dr DVM Delphin Olorounto KOUDANDE, Directeur Scientifique et Prof. Dr Ir. Hessou Anastase AZONTONDE, Responsable du Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement du Centre de Recherches Agricoles d'Agonkamey, tous les deux de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin pour la lecture et les remarques constructives sur le manuscrit.

### **Références bibliographiques**

Agbangba C.E, Dagbénonbakin D.G. et Kindomihou V. (2010). Etablissement des normes du Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation de la culture d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) variété Pain de sucre en zone subéquatoriale du Bénin. *Annales de l'Université de Parakou, Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 1: 51-69.

Agbangba C.E., G. P. Olodo, G. D. Dagbenonbakin, V. Kindomihou, L. E. Akpo (2011a). Preliminary DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Perola' nutrient status in Benin (West Africa). *African Journal of Agricultural Research*, Vol 6(27): 5841-5847.

Agbangba C.E., E. L. Sossa, G. D. Dagbenonbakin, S. Diatta, L. E. Akpo, (2011b). DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Smooth cayenne' nutrient status in Benin (West Africa). *Journal of Asian Scientific Research*, 1 (5), pp.254-264.

Amundson R.L. and Koehler F.E. (1987). Utilization of DRIS for diagnosis of nutrient deficiencies in wheat. *Agronomy Journal*, 79: 472-476.

Angeles D.E, Sumner M.E and Barbour N.W. (1990). Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*, 25: 652-655.

Bailey J.S., Beattie J.A.M. and Kilpatrick D.J. (1997). The diagnosis and integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: Model establishment. *Plant Soil*, 197: 127-135.

Beaufils E.R. (1973). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science Bulletin*, 1: 1-132.

Beaufils E.R. and Sumner M.E. (1977). Effect of time sampling on the diagnosis of the N, P, K, Ca and Mg requirement of sugarcane by the DRIS approach. *Proc. S.*



Afr. Sugar. Tech. Assoc., 51: 62-67.

Dagbénonbakin G. D. (2005). Productivity and water use efficiency of important crops in the upper Oueme Catchment: influence of nutrient limitations, nutrient balances and soil fertility. Ph-D Thesis, Bonn. ISBN 3-937941-05-3.

Dagbenonbakin G. D., Agbangba C. E. et Kindomihou V. (2010). Comparaison du système intégré de diagnostic et de recommandation et de la méthode de la valeur critique pour la détermination du statut nutritionnel de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr), variété cayenne lisse au Bénin. P. 1550 -1563. Int. J. Biol. Chem. Sci., October 2010, Volume 4, Number 5.

Dagbenonbakin G. D., Agbangba E. C., Glele Kakaï R. L. and Goldbach H. (2010). Preliminary diagnosis of the nutrient status of cotton (*Gossypium hirsutum* L) in Benin (West Africa). *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, N°67 juin 2010, 32-44, ISSN 1025-2355

Dagbenonbakin G. D., Agbangba E. C., Bognonkpe J. P. et Goldbach H. (2011). DRIS model parameterization to assess yam (*Dioscorea rotundata*) mineral nutrition in Benin (West Africa). *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.49 No.1 (2011), pp.142-151. EuroJournals Publishing, Inc. 2011. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>

Dagbenonbakin G. D, Chougourou D., Ahoyo Adjovi N., Fayalo G. et IGUE M. (2012). Effets du compost et du  $N_{14}P_{23}K_{14}S_5B_1$  sur la production et les caractéristiques du rendement de coton graine au Nord Bénin Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro spécial Coton – Septembre 2012. BRAB en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net>. ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099.

Dagbenonbakin, G. D., Srivastava, A., Gaiser, T., Goldbach, H. (2012). Maize nutrient assessment in Benin Republic: Case of Upper Ouémé Catchment. *Journal of Plant Nutrition*. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2012.724492>.

Dagbenonbakin G. D., Djenontin J. P. A., Ahoyo Adjovi N. R., Igue A. M. et Mensah G. A. (2013). Production et utilisation de compost et gestion des résidus de récolte. Fiche technique, 10 p. Dépôt légal N° 6529 du 18/01/2013, 1<sup>er</sup> trimestre 2013, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN : 978-99919-1-230-1.

Djèntonin A. J., Dagbénonbakin G. D., Igué A. M., Azontondé H. A., Mensah G. A. (2012). Gestion de la matière organique du sol : valorisation des résidus de récoltes par l'enfouissement au Nord du Bénin. Dépôt légal N° 5569 du 09/01/2012, 1er trimestre 2012, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN: 978-99919-978-1-0.

Djèntonin A. J., Dagbénonbakin G. D., Igué A. M., Azontondé H. A., Mensah G. A. (2012). Gestion de la matière organique du sol : valorisation des résidus de récoltes de l'exploitation agricole par le parcage rotatif direct du Nord du Bénin. Dépôt légal N° 5540 du 23/12/2011, 4ème trimestre 2011, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN: 978-99919-975-4-4.

Kelling K.A. and Shulte E.E. (1986). Review DRIS as part of a routine plant analysis program. *J. Fert.*, 3(3): 107-112.

Lagenegger W. and Smith B.L. (1978). An evaluation of the DRIS system applied to pineapple leaf analysis. *Proc., 8th International colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems.*, pp. 63-272.

Wadt P.G.S. (1996). Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa: Tese - Doutorado UFV.p. 123.

Walworth JL, Sumner M.E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.*, 6: 149-88.