

RÉSUMÉ

Les appareils d'analyses rapides « sol » et « plante » offrent un moyen efficace de piloter les fertilisations en fonction des besoins au cours du cycle cultural.

L'accès à un résultat d'analyse sur le terrain, de manière simple et rapide, contribue à leur succès.

Ceci dit, la qualité de réponse du matériel reste un critère essentiel.

Tout utilisateur est en effet soucieux de savoir si la mesure de terrain ne l'éloigne pas d'un diagnostic basé sur une analyse de laboratoire.

Dans ce contexte, les réponses du Nutrichek® ont été étudiées en référence aux valeurs de laboratoire.

Ceci nous permet aujourd'hui de dresser un bilan technique pour une utilisation adéquate du Nutrichek®.

Le programme d'analyses va être prochainement complété par des tests sur SO_4 , NH_4 , Cl , les éléments dosables dans les sols, puis sur Ca pour les jus de plantes afin d'explorer l'ensemble des possibilités de dosage offertes par ce matériel.

LABORATORY TESTS AND ANALYSES – THE NUTRICHEK® UNDER STUDY

Apparatuses for quick "soil" and "plant" analyses offer an efficient means of managing fertilisation according to the plant's needs during the growing cycle.

The fact that they allow access to analytical results quickly, easily and in the field has contributed to their success.

However, the reliability of field data is an essential factor. All users are concerned to know whether the field measurements point to the same diagnosis as the one derived from laboratory analysis. In this context, the data from the Nutrichek® were compared to laboratory values.

This puts us in a position to make a technical assessment of the appropriate way to use Nutrichek®.

The analytical programme will soon be supplemented by tests of SO_4 , NH_4 , Cl , assayable elements contained in the soil, and then of plant sap Ca , in order to explore all possible assay applications for this equipment.



Mise en œuvre du test pétioleaire fraisier

Tests et analyses de laboratoire

Le Nutrichek® à l'étude

La mise à disposition d'outils d'analyse rapide, simples à utiliser et fiables, contribue à l'évolution des pratiques de fertilisation. Actuellement, on distingue trois types d'appareils pour des mesures de terrain qui doivent aider à raisonner les apports :

- le Nitrachek®, le plus répandu, qui mesure spécifiquement les nitrates ;
- le Rqflex® qui permet le dosage de la plupart des éléments minéraux majeurs indispensables aux plantes* ;
- et enfin le Nutrichek®, le dernier mis sur le marché qui se veut plus complet au niveau de

la liste des éléments dosables. Par rapport au précédent, il offre la possibilité d'analyser en plus les éléments sulfates, chlorures et magnésium.

Cet article est destiné à rendre compte des différents travaux et observations que nous avons réalisés avec le Nutrichek®, le but étant d'analyser, élément par élément, les réponses du Nutrichek® comparativement aux valeurs obtenues avec le matériel de laboratoire (flux continu et spectrophotomètre d'absorption et d'émission de flamme) à partir des mêmes échantillons liquides.

*Infos-Ctifl n° 156, novembre 1999



L'analyse au Nutrichek®

Le Nutrichek® est un spectrophotomètre de terrain, destiné au dosage des minéraux qui interviennent dans l'alimentation des végétaux.

Il permet la mesure des éléments majeurs (nitrate, ammonium, phosphate, sulfate, potassium, calcium, magnésium) et des chlorures dans les solutions nutritives, les sols et les jus de plantes.

Contrairement aux autres appareils d'analyse rapide (Rqflex® et Nitrachek®) qui fonctionnent à l'aide de bandelettes, le Nutrichek® utilise des tubes prêts à l'emploi permettant le dosage spécifique d'un élément donné. Chaque tube est identifié par un numéro correspondant à une fiche technique illustrant les différentes étapes à effectuer (volume d'échantillon et de réactif à introduire, temps de réaction).

Les méthodes de référence en analyse minérale

Les deux méthodes de référence, employées au laboratoire du Ctifl, afin d'étudier les qualités de réponse du Nutrichek®, sont la colorimétrie et la spectrophotométrie d'absorption atomique et d'émission de flamme. La colorimétrie, réalisée en flux continu (chaîne d'analyse automatisée) permet le dosage des ions nitrate, phosphate et ammonium.

Dans le cas des nitrates, ceux-ci sont réduits en nitrites, par passage sur une colonne de cadmium-cuivre. Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour donner un composé diazoïque qui forme avec la N-Naphthyléthylène diamine un complexe de couleur rose. L'intensité de la coloration est en relation avec la concentration en nitrates et la mesure est effectuée à 540 nm.

Les phosphates, quant à eux, réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe phosphomolybdique jaune, en milieu oxydant, qui est réduit et développe une coloration bleue. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la concentration en phosphates. La mesure est effectuée à 880 nm.

Et enfin, les ions ammonium, en présence de dichloroisocyanurate et de salicylate de sodium, en milieu basique donnent une coloration verte dont l'intensité augmente avec la concentration en ammonium. La mesure est effectuée à 660 nm.

Les cations sont dosés par émission (potassium) ou absorption atomique (calcium et magnésium). L'échantillon à doser est vaporisé dans une flamme. L'élément dosé absorbe (dans le cas de l'absorption) ou émet (dans le cas de l'émission), à une longueur d'onde spécifique, des radiations photoniques proportionnelles à la concentration de cet élément dans l'échantillon.

Étude comparative

Cette étude permet de faire une première synthèse des points forts et des points faibles du matériel Nutrichek® dans ses diverses applications, sans préjuger de son évolution technique par rapport aux limites d'utilisation mises en évidence par ces travaux.

Le protocole d'analyses comparatives est appliqué selon trois étapes successives :

- 1- analyse de l'élément dans une solution simple. Cette solution est réalisée à partir d'un sel contenant l'élément à doser. Par exemple, l'analyse du potassium se fera dans une solution de nitrate de potassium. Elle est préparée à différentes concentrations, en couvrant la gamme de lecture du Nutrichek® pour l'élément considéré ;
- 2- analyse de l'élément dans des solutions multi-éléments dites solutions composées, en faisant varier les équilibres entre éléments (exemple : K/Ca et K/Ca + Mg) pour étudier les interférences possibles.

TABLEAU 1-Analyses des solutions simples

	Droite de régression	Coefficient de détermination	Ecart entre les résultats « laboratoire » et « Nutrichek® »
NO ₃	$y = 1,0084 x$	$r^2 = 0,96$	+ / - 18 %
H ₂ PO ₄	$y = 0,8893 x$	$r^2 = 1,00$	+ 11 %
K	$y = 0,8842 x$	$r^2 = 1,00$	+ / - 12 %
Ca	$y = 0,7774 x$	$r^2 = 0,97$	+ 12 % jusqu'à 120 mg/l Ca + 21 % au delà de 150 mg/l Ca
Mg	$y = 0,9819 x$	$r^2 = 0,98$	+ 32 % jusqu'à 20 mg/l Mg +/- 6 % au delà de 50 mg/l Mg
Nitrasol	$y = 1,1338 x$	$r^2 = 0,97$	+ 18 % (de 1 à 15 mg/l NO ₃) - 10 % (de 15 à 50 mg/l NO ₃)

TABLEAU 2-Analyse des solutions composées

	Droite de régression	Coefficient de détermination	Ecart entre les résultats « laboratoire » et « Nutrichek® »
NO ₃	$y = 1,1406 x$	$r^2 = 0,97$	+/- 17 %
H ₂ PO ₄	$y = 0,8695 x$	$r^2 = 1,00$	+ 13 %
K	$y = 0,9134 x$	$r^2 = 0,99$	+ / - 11 %
Ca	$y = 1,0018 x$	$r^2 = 0,97$	+/- 9 % (sur gamme 20 à 100 mg/l Ca avec des teneurs en PO ₄ < 20 mg/l)
Mg	$y = 1,027 x$	$r^2 = 0,95$	+/- 14 % (sur gamme 50 à 200 mg/l Mg)

Ces milieux peuvent être assimilés à des solutions nutritives. En conséquence, les résultats sont transposables pour des applications à des dosages de solutions en culture hors-sol ;

3- analyse de l'élément dans un milieu à matrice complexe : jus de plantes (exemple : sucs pétioles de fraisiers) et extraits de sol.

Dans la présentation des résultats qui suit, « y » représente les valeurs de laboratoire et « x » les valeurs du Nutrichek®.

Solutions simples et composées

Les tests comparatifs ont été réalisés sur huit à neuf points de concentrations différentes couvrant la gamme de lecture de l'appareil, dans le cas des solutions simples et sur cinq à onze solutions nutritives différentes dans le cas des solutions composées.

Chaque solution, correspondant à une concentration précise de l'élément à doser, a fait l'objet de dix analyses pour les solutions simples et de cinq analyses pour les solutions composées.

Des contrôles de répétitivité et de reproductibilité des mesures ont été systématiquement réalisés tout au long de l'étude, y compris dans le cas des jus de plantes et extraits de sol. Les équations des droites de régression et les coefficients de détermination sont présentés dans les TABLEAUX 1 ET 2.

Les résultats obtenus à ce jour dans les conditions d'utilisation du Nutrichek® définies par Challenge Agriculture permettent de donner les informations suivantes :

– il existe une corrélation satisfaisante entre les valeurs Nutrichek® et celles des appareils de laboratoire quand les analyses portent sur des solutions simples ou des solutions composées assimilées à des solutions nutritives. Cependant sont relevées des différences de précision en fonction des éléments et de la gamme de lecture proposée par le fournisseur ;

– en ce qui concerne la mesure des concentrations en nitrates (programme NO₃, Nutrichek®) en solutions simples, on peut noter une dispersion des valeurs importantes tout au long de la gamme de lecture et qui est accentuée au-delà de 600 mg/l NO₃. Les mesures obtenues sont surestimées dans la partie basse de la gamme (de 50 à 200 mg/l NO₃) avec des écarts par rapport aux mesures de laboratoire importants, allant de 88 % pour 50 mg/l de NO₃ à 23 % pour 200 mg/l NO₃. Au-delà de 400 mg/l NO₃, les valeurs obtenues sont satisfaisantes (estimation +/- 8 %) avec cependant une forte variabilité des résultats. En solution composée, les observations rejoignent celles qui ont été rapportées au sujet des solutions simples, avec une surestimation de l'ordre de 17 % dans la partie basse de la gamme et une sous-estimation de 15 % dans la partie haute.

Pour la mesure des nitrates avec le programme Nitrasol du Nutrichek®, on peut observer une forte surestimation des mesures pour les teneurs inférieures à 5 mg/l NO₃ (+ 45 %) et une sous-estimation (- 20 %) pour les teneurs supérieures à 40 mg/l NO₃. Entre 5 et 40 mg/l NO₃, les écarts obtenus entre le Nutrichek® et les appareils de laboratoire sont limités et la variabilité inter-mesures est faible.

Pour les phosphates, le Nutrichek® surestime les mesures. Dans son application aux solutions nutritives, l'écart par rapport à la valeur théorique oscille de 9 à 32 % et les coefficients de variation ont tendance à augmenter dans les parties basse et haute de la gamme de dosage. D'autre part, au-delà d'une concentration réelle de 900 mg/l le dosage avec le Nutrichek® n'est pas réalisable. Donc la limite supérieure de la gamme de lecture de l'appareil n'est pas 1 200 mg/l, mais 900 mg/l.

Concernant le potassium, le Nutrichek®

surévalue les résultats d'analyse, en solution simple ou composée, sauf à la limite inférieure de la gamme de lecture, entre 100 et 130 mg/l. Dans ce cas l'écart à la valeur théorique varie de 8 à 14 %. La variabilité inter-mesures reste dans des limites satisfaisantes et, dans l'ensemble, l'appareil est fiable pour des dosages de potassium à l'intérieur d'une gamme allant de 100 à 1 000 mg/l, au lieu de 1 200 mg/l comme indiqué dans la dernière version de la fiche technique du Nutrichek®.

Quant au calcium, en solution simple, l'écart par rapport à la concentration théorique devient très important à partir de 150 mg/l.

En solution composée, les résultats mettent en évidence des problèmes particuliers avec un sous dosage très important, voire une non-réponse, de l'appareil même pour des concentrations théoriques en calcium de 30 à 200 mg/l dans certains cas. L'influence supposée des phosphates à ce niveau, nous a conduits à effectuer une série de tests sur des solutions à différentes concentrations en calcium couplées à des teneurs en phosphates (exprimées en PO₄) de 0 à 80 mg/l.

Le **TABLEAU 3** montre qu'au-delà 20 mg/l PO₄, le dosage du calcium n'est pas satisfaisant.

Donc en solution nutritive, il suffit, après détermination de la teneur en phosphates, de diluer cette solution pour ne pas dépasser 20 mg/l PO₄, ce qui conditionne l'accès à un dosage de qualité pour le calcium.

En mars 2003, un bilan intermédiaire des travaux réalisés a été présenté à Challenge Agriculture en soulignant les problèmes de dosage révélés par l'étude et notamment celui du calcium. Plusieurs modifications ont été apportées pour améliorer le dosage du calcium. Elles peuvent être résumées en quatre points :



Prélèvement d'un pétiole de fraise pour le test

- ajout de tubes anti P permettant la précipitation des phosphates présents dans le milieu à analyser ;
- réduction de la gamme de lecture ; on passe de 5 à 100 mg/l au lieu de 1 à 250 mg/l ;
- modification des volumes de réactifs ;
- diminution des temps de réaction (dix à quatre minutes).

Le **TABLEAU 4** rend compte de l'amélioration des résultats obtenus avec ce nouveau programme.

Pour le magnésium, le Nutrichek® surdose jusqu'à 50 mg/l. Au-delà les valeurs obtenues sont satisfaisantes et la variabilité inter-mesures est correcte (**TABLEAU 5**). Deux gammes de mesure pour cet élément pourraient résoudre le défaut relevé dans la partie basse de la gamme.

Là aussi, Challenge Agriculture a choisi, à la suite des résultats présentés, de réduire sa gamme de mesure (5 à 100 mg/l Mg au lieu de 5 à 200 mg/l Mg).

TABLEAU 3-Influence des phosphates sur le dosage du calcium (sur solutions nutritives)

mg/l PO4	Écart/Valeur de laboratoire (en pourcentage)					
	mg/l Ca	20	40,1	60,8	80	100
0		8,5	10,6	6,0	7,8	-2,1
20		2,5	2,2	0	0	-10,5
30				-14,4	-14,6	-13,9
40		-15,2	-20,5			
80		-40,3	-51,3			


TABLEAU 4-Effet de l'ajout d'un réactif anti P sur la mesure Ca : Ancien programme = PROG 17 Ca ; Nouveau programme = PROG 171 Ca

Concentration des solutions en mg/l de Ca ; PO ₄	PROG 17 Ca sans anti P			PROG 171 Ca + anti P		
	Moy. des mesures	Coef. de variation en %	Écart (%) Nutrichek®/Spectro	Moy. des mesures	Coef. de variation en %	Écart (%) Nutrichek®/Spectro
Solution 1 (40,1 ; 80)	19	3	-51	38	1	45
Solution 2 (60,8 ; 30)	49	2	-14	57	0	66
Solution 3 (99,5 ; 72,3)	61	2	-35	93	1	94
Solution 4 (53,3 ; 100)				52	3	61
Solution 5 (53,3 ; 140)				52	1	58

Solution à matrice complexe

Jus de plante

Pour réaliser cette étude, nous avons prélevé des pétioles de fraisier, fractionné ces pétioles, pressé l'échantillon frais et analysé le jus obtenu. Les résultats sont synthétisés dans le **TABLEAU 6**.

Pour les nitrates, les résultats sont satisfaisants avec des écarts par rapport aux valeurs de laboratoire inférieurs à 10 % sur l'ensemble de la gamme étudiée, soit de 100 à 800 mg/l NO₃ (**FIGURE 1**).

Toutefois, le dosage est relativement long à réaliser. Le temps d'analyse est de six minutes avec le Nutrichek® alors qu'il n'est que de une minute avec le Nitrachek®.

Pour les phosphates, nous ne pouvons établir de corrélation ; le Nutrichek® donne dans le cas des jus de plantes, un indice et non pas une concentration. Cet indice traduit un niveau de phosphates et, au vu des résultats que nous avons obtenus, nous concluons sur la nécessité d'un calage préalable du Nutrichek® pour tenir compte de la concentration en phosphates de l'espèce considérée.

Suite à la présentation de nos résultats, deux nouveaux programmes (le 131 H₂PO₄ et le 139 H₂PO₄) ont été créés, utilisables en plus du programme existant. Ces deux programmes font appel à des réactions différentes et sont destinés à des espèces différentes (programme 139 H₂PO₄ adapté au fraisier). La lecture reste dans tous les cas exprimée en indice « plantes ».

Pour le potassium, la corrélation entre les mesures du Nutrichek® et du laboratoire est très élevée soulignant la bonne réponse du matériel d'analyse rapide pour cet élément. En diluant l'échantillon au 1/10^e on se place dans des conditions satisfaisantes d'analyse (gamme de lecture inférieure à 800 mg/l K) et les écarts mesurés entre

TABLEAU 5-Étude comparative entre le Nutrichek et le spectrophotomètre sur des solutions simples

Concentration des étalons mg/l Mg	Nutrichek®		Spectrophotomètre		Écart Nutrichek®/Spectro (%)
	Moy. des mesures	Coef. de variation en %	Moy. des mesures	Coef. de variation en %	
5	6	7	5	2	23
10	14	10	10	1	47
20	31	4	20	1	54
50	58	8	50	2	17
100	94	4	104	2	-10
150	153	4	150	1	2
180	198	5	186	2	7
200	203	10	209	1	-3

TABLEAU 6-Bilan des analyses réalisées sur jus de plantes avec le Nutrichek® comparativement aux valeurs du laboratoire

	Droite de régression	Coefficient de corrélation
NO ₃	$y = 0,998 x$	$r^2 = 0,95$
H ₂ PO ₄	impossible à établir	
K	$y = 0,9268 x$	$r^2 = 0,98$
Ca	impossible à établir dans une première phase (1)	
Mg	$y = 1,5541 x$ (ancien programme)	$r^2 = 0,68$
	$y = 1,3205 x$ (nouveau programme)	$r^2 = 0,98$

(1) les tests en cours soulignent l'amélioration de la qualité de dosage

TABLEAU 7-Analyse du calcium dans les jus pétioles fraisiers (effet de la dilution)

Identification échantillons	Dilution	mg/l Ca		Spectro Moy. des mesures	Écart Nutrichek®/Labo (%)
		Moy. des mesures	Coef. de variation en %		
Échantillon 1	1/20	13	8	12	6
Échantillon 2	1/10	23	3	24	-5
Échantillon 3	1/5	28	0	47	-41
Échantillon 4	1/10	19	4	21	-5
Échantillon 5	1/5	27	3	41	-36
Échantillon 6	1/2	25	3	103	-76
Échantillon 7	1/2	17	2	98	-82
Échantillon 8	1/20	21	3	18	15
Échantillon 9	1/10	36	0	36	1
Échantillon 10	1/5	46	5	71	-36
Échantillon 11	1/4	43	2	89	-52

les résultats du Nutrichek® et l'appareil de laboratoire sont inférieurs à 10 %.

Pour le calcium, avec l'ancien programme (17 Ca), les interférences liées aux phosphates ne permettent pas d'établir une corrélation entre le Nutrichek® et le matériel de référence. Les concentrations en phosphates sont de l'ordre de 300 à 1000 mg/l PO₄ dans les jus pétioles fraisiers (300 à 600 mg/l PO₄ dans les pétioles de pomme de terre et 400 à 600 mg/l PO₄ dans les pétioles de carotte) et la teneur en phosphate du milieu à doser doit être inférieure à 20 mg/l PO₄ (concentration limite au delà de laquelle la mesure de la concentration en calcium n'est pas fiable), d'où une nécessaire dilution de l'échantillon à analyser. Toutefois, les concentrations en calcium dans ces jus étant de 20 à 400 mg/l Ca, cette dilution entraînerait des teneurs en calcium trop faibles et une imprécision voir une absence de résultats. Le nouveau programme calcium (171 Ca) a pu être testé. L'efficacité du réactif anti P a été précédemment montrée sur les solutions nutritives. Pour les jus de plantes, on vérifie l'intérêt d'une dilution au 1/10^e (TABLEAU 7), toutefois des travaux complémentaires sont nécessaires pour préciser l'efficacité d'une telle dilution dans différents milieux, dont les jus pétioles de pomme de terre et de carotte.

Pour le magnésium, les écarts par rapport aux mesures de référence sont importants sur toute la gamme de lecture étudiée (de 20 à 170 mg/l Mg). Ces écarts sont de l'ordre de + 17 % à + 100 % dans la partie basse de la gamme (inférieur à 50 mg/l Mg) et sont de - 4 % à - 58 % dans la partie haute (FIGURE 2). Ces résultats confirment ceux obtenus sur les solutions nutritives et renforcent l'idée de réduire la gamme de lecture.

Le nouveau programme magnésium (181 Mg) mis en place en juillet 2003 a pu être testé et les résultats sont améliorés. Le lien statistique entre les deux valeurs Nutrichek® et laboratoire est satisfaisant et les écarts sont réduits mais restent significatifs au delà de 50 mg/l (FIGURE 3).

Extrait de sol

Des essais ont été réalisés sur des extraits au KCl 1 N (rapport d'extraction 1/1), afin de vérifier la gamme Nitraxol. Quinze extraits ont été analysés, avec deux mesures par extrait.

FIGURE 1-Étude comparative entre le Nutrichek® et le flux continu sur des sucres pétioles pomme de terre, fraisiers et carottes-(dilution au 1/10)-NO₃-

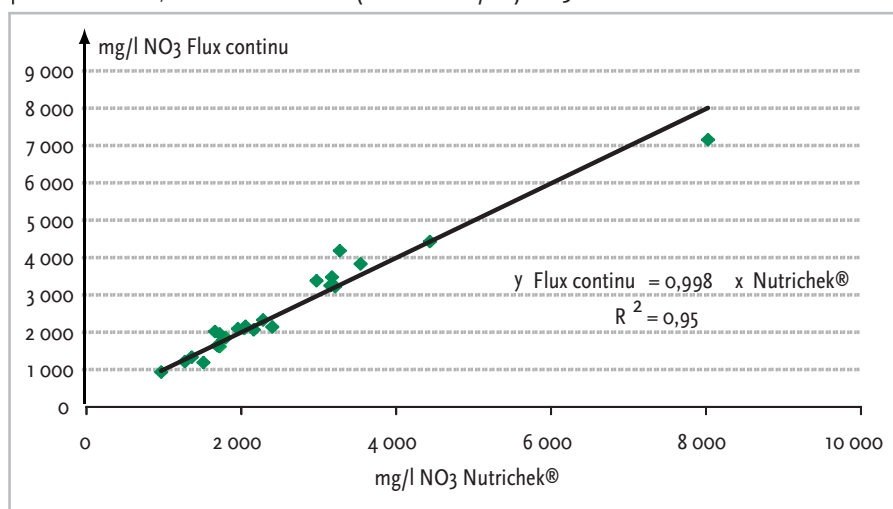


FIGURE 2-Étude comparative entre le Nutrichek et le spectrophotomètre sur des sucres pétioles fraisiers-Programme 18 Mg-

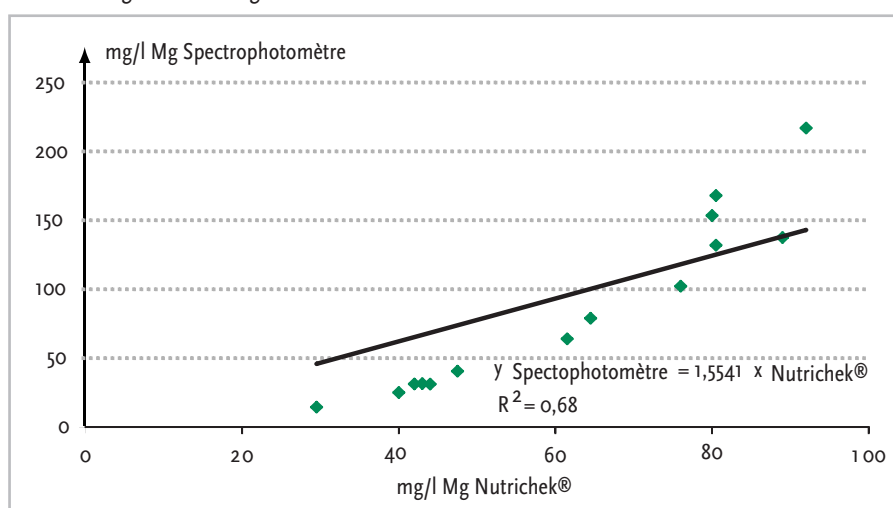
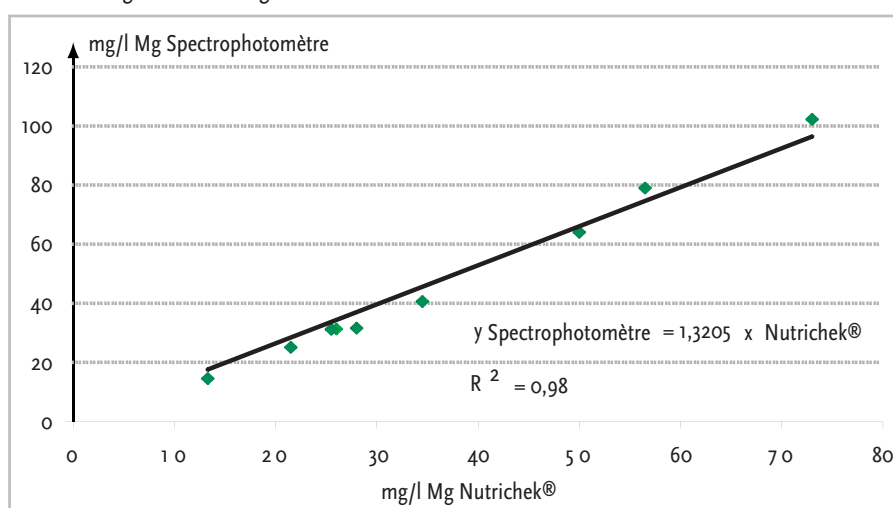


FIGURE 3-Étude comparative entre le Nutrichek et le spectrophotomètre sur des sucres pétioles fraisiers-Programme 181 Mg-





Les résultats obtenus sont présentés dans le **TABLEAU 8**.

Pour les extraits de sol, les résultats dans la partie basse de la gamme (concentration inférieure à 5 mg/l NO₃) sont semblables à ceux obtenus pour les solutions simples, la surestimation est de l'ordre de 30 %. Pour le reste de la gamme, les écarts varient de + 13 % à - 40 %.

Vers une nouvelle étape

L'appareil Nutrichek® vient compléter la gamme de matériel d'analyses rapides. L'intérêt pratique de tels outils sur le terrain n'est plus à démontrer. Simples d'emploi avec des temps d'analyses en général courts, ils s'imposent naturellement dans les démarches de conduite raisonnée des fertilisations. Par ailleurs, sans exiger la précision d'une analyse de laboratoire, l'utilisateur attend d'eux des réponses fiables permettant d'établir le même diagnostic, puis de prendre la même décision qu'avec une mesure de laboratoire. Il est important pour le praticien sur le terrain de bien connaître les possibilités et limites du matériel utilisé.

Dans ce contexte, le Nutrichek® a été étudié pour deux applications majeures en particulier, à ce jour : les solutions nutritives et les jus pétioles.

La première étape de l'étude a montré une qualité de réponse de l'appareil satisfaisante pour les nitrates et le potassium et révélé un certain nombre de difficultés plus ou moins importantes selon les éléments et milieux d'analyse considérés :

- Mg : gamme de mesure trop large avec en conséquence des imprécisions importantes sur la mesure ;
- Ca : résultats très éloignés des valeurs de laboratoire dès que la teneur en phosphates, exprimée en PO₄ dépasse 20 mg/l ;
- H₂PO₄ : lecture en indice qui limite l'utilisation du matériel à certaines espèces.

En outre, il est apparu que, dans l'ensemble, les gammes de lecture étaient trop larges par rapport aux capacités de mesure de l'appareil.

Dans une deuxième étape et au fur et à mesure des multiples modifications successivement apportées par Challenge Agriculture, des travaux complémentaires ont été réalisés sur Ca et H₂PO₄ (**TABLEAU 9**). L'amélioration est sensible pour le Ca avec l'ajout du réactif anti P destiné à an-

TABLEAU 8-Analyses extraits de sol

	Droite de régression	Coefficient de corrélation
Nitrasol	$y = 0,9023 x$	$r^2 = 0,58$

TABLEAU 9-Conditions d'analyses avec l'appareil Nutrichek® proposées par le fournisseur

Eléments	N° programme		Gamme de mesure (mg/l)		Volume d'échantillon (ml)		Temps de réaction	
Conditions analyses	1	2	1	2	1	2	1	2
NO ₃	10	•	50-1200	•	0,25	•	6 min	•
H ₂ PO ₄	131	•	50-1200	•	0,50	•	5 ou 3 sec	•
		131*						
		139	50-1200	•	0,25	•	5 ou 3 sec	•
K	16	•	100-1200	•	0,25	•	1 min	•
Ca	17	171	1-250	5-100	0,25	•	10 min	4 min
Mg	18	181	5-200	5-100	0,50	0,25	15 sec	•
NO ₃ extraits de sol	Nitrasol	•	1-50	•	2 ml	•	6 min	•

1 : Conditions d'analyses jusqu'en Septembre 2003

2 : Nouvelles conditions d'analyses, à partir de Septembre 2003

• Pas de modification

* Programme 131 H₂PO₄ non finalisé

nuler l'effet des phosphates sur le dosage du Ca. Ceci est vérifié pour les solutions nutritives et reste à approfondir pour les milieux à matrices complexes.

Pour le H₂PO₄, un calage de l'appareil, pour prendre en compte une échelle de concentration supplémentaire, élargit le champ d'application de la méthode pour

les plantes. Ceci dit, la traduction en indice renvoie à la question de la valeur des seuils retenus pour juger du niveau de nutrition phosphatée de la culture.

Les progrès récents sur le Nutrichek® sont prometteurs et les résultats des tests en cours, au laboratoire d'analyses, devraient permettre de franchir une nouvelle étape. ■

Bibliographie

■ AFNOR NF 03-110, 1998.
Procédure de validation intra-laboratoire d'une méthode alternative par rapport à une méthode de référence.

■ FREIXINOS E.,
RAYNAL-LACROIX C., 1999.
Tests rapides et analyses de laboratoire. Bilan d'une étude comparative.
Infos Ctifl n° 156.

■ [http : //www.ird.sn/activites/LCA](http://www.ird.sn/activites/LCA)

■ Nutrichek®, fiches techniques « Challenge Agriculture »

■ RODIER J., 1984. *L'analyse de l'eau.*