



Rapport final
de la recherche collective subvention 2741/1

**Indices de nutrition minérale et ensilage d'herbes :
évaluation et validation de leur utilisation pour la
détection des déficiences en prairies**

Mars 2009

M. Mathot
E. Vermeiren
R. Lambert

1. Introduction

La nutrition minérale des prairies est un poste essentiel en agriculture. En effet, les prairies occupent environ 49% de la surface agricole en région Wallonne (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007). Outre la problématique de l'azote, une fertilisation inadéquate en P, K ou S peut résulter en un déficit des rendements ou des pertes vers l'environnement de ces minéraux. Il est notamment reconnu qu'un excès d'apport de P peut avoir pour conséquence l'eutrophisation des eaux (Cellule Etat de l'Environnement Wallon, 2007). D'autre part, des déficiences en soufre ont été observées en Belgique (Mathot *et al.*, 2008). Ces déficiences sont caractérisées par une diminution des rendements mais également par un risque d'accroissement des pertes d'azote vers l'environnement suite à la non utilisation de celui-ci par le végétal (Brown *et al.*, 2000).

Les indices de nutrition développés entre autres par Salette et Huché (1991) sont des outils aisément utilisables pour évaluer la disponibilité en minéraux des prairies. Les recherches réalisées par ces auteurs ont montré que l'on peut estimer l'état de nutrition phosphorique et potassique des prairies à l'aide d'une simple analyse de végétaux prélevés lors de la fauche. Les teneurs en P et K des fourrages sont comparées à celle de l'azote. Pour une teneur en azote définie, des teneurs en P ou K supérieures aux valeurs cibles indiquent que la disponibilité en ces éléments était suffisante pour ne pas limiter les rendements. Inversement des teneurs inférieures aux valeurs cibles indiquent que la nutrition était insuffisante. En fonction de l'écart par rapport à la valeur cible, le diagnostic est plus ou moins sévère (tableau 1). Suite à la première réunion du comité de projet, il est proposé d'interpréter les résultats comme indiqué au tableau 1.

Tableau 1 : Les indices de nutriments (Salette et Huché, 1991 ; Duru et Théliet-Huché, 1995). %P, %K et %N sont respectivement les teneurs en P, K et N en % de MS dans le fourrage.

	Indices de nutrition	Formule
Phosphore	iP	$iP = 100 \%P / (0,15 + 0,065 \%N)$
Potassium	iK	$iK = 100 \%K / (1,6 + 0,525 \%N)$
Valeur de iP et iK	Commentaires INRA	Commentaires proposés par le comité de projet
> 120	Excédentaire	
100 à 120	Très satisfaisant	Excédentaire
80 à 100	Satisfaisant	Satisfaisant
60 à 80	Insuffisant	Insuffisant
< 60	Très insuffisant	

En ce qui concerne le soufre, des recherches menées au département BAPA de l'UCL ont montré que, de façon similaire, on pouvait estimer la nutrition soufrée des prairies à l'aide des teneurs en N et en S des fourrages (Mathot et al., in press). Dans ce cas, l'indice de nutrition (IS) proposé est : $IS = S\% / (0.0662 * N\% - 0.00198) * 100$ avec S% et N% la teneur en S et N du fourrage exprimées en % de la matière sèche. L'interprétation des indices est discutée ci-dessous.

A l'aide d'une simple analyse de fourrage, on peut dès lors calculer les indices et évaluer le niveau de nutrition en P, K, S et la pertinence des fertilisations minérales appliquées. Cependant, les indices de nutrition ont été établis à partir d'analyses de fourrages frais. Ce type d'échantillon n'est pas fréquemment analysé par l'agriculteur qui réalise préférentiellement une analyse de fourrage après ensilage pour estimer la valeur nutritionnelle de l'aliment qu'il donnera à ses animaux. De plus, certaines conditions doivent être respectées (rendement, proportion de légumineuses, ...).

Deux processus distincts sont propices au changement des caractéristiques du fourrage après la fauche : le séchage du fourrage au champ, lorsqu'il n'est pas ensilé en frais, et le processus d'ensilage en tant que tel.

Durant le séchage au champ, qui est plus ou moins important, le fourrage peut perdre de la matière sèche et des minéraux suite à la respiration et au lessivage des minéraux lors de précipitations. De plus, lors de la manipulation des fourrages, il peut y avoir des pertes directes de fractions par action mécanique. Le processus d'ensilage en tant que tel repose sur la stabilisation du fourrage par l'acidification de celui-ci consécutive à la dégradation d'une partie de sa matière organique. Il y a dès lors des modifications des caractéristiques du fourrage (ex : production de NH_4 et, qu'en est-il de la teneur en S ?). Ces modifications et leurs conséquences analytiques (ex : perte d'une partie du NH_3 durant le séchage des échantillons avant l'analyse) peuvent influencer les proportions mesurées entre les différents minéraux et l'azote et modifier ainsi le diagnostic de nutrition basé sur les indices de nutrition.

Etant donné que, dans le réseau Requasud (Requasud, 2008), on analyse respectivement 14 et 2 fois plus d'échantillons d'ensilage et de foin que d'herbes fraîches, il serait très intéressant de pouvoir utiliser les indices de nutrition sur les ensilages pour évaluer l'état de nutrition minérale (et la fertilisation) des prairies en Région wallonne. Cependant, les incertitudes liées

aux modifications ayant lieu durant les processus de préfanage et d'ensilage rendent délicate l'utilisation des indices de nutrition pour un diagnostic sur les fourrages conservés.

2. Objectif

Cette recherche a pour objectif d'évaluer la pertinence de l'utilisation de la technique des indices de nutrition sur des analyses d'ensilages d'herbes. Le but final est, à partir de cette technique de pouvoir étudier l'état de nutrition minérale des prairies en Région wallonne et de fournir un outil permettant un diagnostic à l'échelle de la parcelle applicable en pratique.

3. Matériel et méthode

Afin de comparer les teneurs en minéraux et les indices de nutrition avant et après conservation, nous avons procédé de deux manières distinctes. D'une part nous avons réalisé la recherche à partir de fourrage provenant de parcelles agricoles et de leurs ensilages. D'autre part, nous avons utilisé des échantillons d'un autre essai concernant le processus d'ensilage réalisé à partir de fourrages provenant de parcelles expérimentales. La technique utilisée pour ce dernier point est décrite dans Mathot et al., 2005. Toutes les données ont été traitées simultanément sans faire de distinction entre leur source.

Les échantillons provenant des parcelles agricoles ont été prélevés entre le mois de juin et le mois d'octobre 2008. La sélection des parcelles a été réalisée de façon à répondre aux critères nécessaires pour l'utilisation des indices de nutrition (Salette et Théliet, 1991). On a donc estimé visuellement le pourcentage de dicotylées (légumineuses et adventices) afin qu'il soit inférieur à 40% et le rendement de façon à ce qu'il soit compris entre 2 et 5 tonnes de MS. Pour ce second paramètre, quand cela était possible, des données ont été prélevées (mesure herbométrique, comptage des balles ou boules) afin d'affiner l'estimation. Cependant, on a fait abstraction de la période de récolte conseillée. En effet, la période optimale recommandée est la première coupe afin d'éviter l'influence d'une sécheresse sur les indices. Etant donné les impératifs de temps et l'absence de sécheresse (39 jours de pluie, 190 mm en juillet et août) on a tout de même choisi de réaliser l'étude sur les coupes suivantes.

A la suite de contacts avec des agriculteurs, quarante-six prairies permanentes et temporaires ont été sélectionnées. Elles ont été échantillonnées pour l'analyse de leur fourrage frais et ensilé. Pour l'analyse en frais, au moment de la fauche, lorsque la parcelle avait une taille inférieure à 1,5 ha, un échantillon composite a été prélevé de façon aléatoire (un prélèvement tous les 10 à 15 mètres). Lorsque la parcelle était supérieure à 1,5 ha mais inférieure à 3 ha,

on a réalisé l'échantillon composite par prélèvement tous les 10 à 15 mètres selon une diagonale. Finalement, lorsque la parcelle était plus grande, on a échantillonné celle-ci sur une surface bien définie d'environ 1 ha tel que réalisé pour une parcelle de 1,5 ha. Les échantillons composites ont été sous échantillonnés pour fournir, par parcelle, un seul échantillon d'environ 3 litres de fourrage frais. Les ensilages ont été échantillonnés au minimum 30 jours après l'emballage. Seuls les ensilages enrubannés ont été considérés afin de réduire au maximum les risques de mélange de fourrages entre les parcelles. Pour chaque parcelle ou zone définie on a prélevé, à la sonde à fourrage, en un coup, un échantillon (3 litres) dans une boule ou balle marquée lors de la récolte en veillant à prélever perpendiculairement aux strates de fourrage. Tous les fourrages ont été conservés dans des sacs de congélation fermés hermétiquement et congelés jusqu'à l'analyse. Pour chaque parcelle on a également prélevé et analysé un échantillon de sol juste après la récolte afin de constituer une base de donnée permettant d'améliorer le conseil de fertilisation.

Les fourrages frais et ensilés ont été analysés pour leur teneur en azote (SPIR), phosphore (P, calcination puis acide nitrique), potassium (K, calcination puis acide nitrique) et soufre (S ; HNO₃-HClO₄ puis turbidimétrie) et les indices de nutrition ont été calculés. Ces valeurs ont été comparées entre les fourrages frais et ensilés provenant des mêmes parcelles et des relations linéaires ont été établies. Pour chaque relation ($y = ax + b$) on a vérifié la validité de la régression (p) et testé l'hypothèse $a=1$ et $b=0$, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de différence pour le paramètre considéré entre sa valeur après et avant ensilage ($y = x$). Les régressions ont ensuite été appliquées à un jeu de données du Centre de Michamps afin d'estimer l'état de nutrition en P, K et S des prairies du sud est de la Belgique.

Dans ce qui suit, on utilise les abréviations reprises au tableau 2

Tableau 2 : Abréviations utilisées

Abréviation	Mot complet
I	Indice de nutrition
P, K, S	Phosphore, potassium, soufre
E, F	Ensilé, frais

IPE Signifie donc indice de nutrition en phosphore calculé à partir d'analyses d'ensilage.

3. Résultats

3.1. Relations entre les indices de nutrition des fourrages frais et ensilés

On a prélevé des échantillons dans 44 parcelles en fermes et 6 en stations expérimentales. Pour les stations expérimentales il y a parfois plus d'un échantillon par parcelle en fonction des traitements de fertilisation testés sur ces parcelles. En tout, on a récolté 69 échantillons de fourrages frais et 69 fourrages ensilés. Les statistiques de base caractérisant les fourrages frais et ensilés sont reprises au tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des fourrages ensilés et frais. MS = matière sèche ; CT = cendres totales ; Cell = Cellulose ; Moy = moyenne ; Et = écart type ; Méd = médiane et n= nombre d'échantillons, % = % par rapport à la matière sèche.

Ensilage													
<i>Stat</i>	MS	CT	Cell	VEM	pH	N-NH ₄ /N	N	P	K	S	IPE	IKE	ISE
	g/kg MS							(g/kg)					
<i>Moy</i>	423	115	300	782	5.2	6.8	20.2	3.3	29.0	1.8	116	109	145
<i>Et</i>	193	39	38	59	0.8	3.1	5.2	0.7	6.7	0.6	16	21	41
<i>Min</i>	151	65	230	658	3.6	2.5	11.9	2.0	14.4	0.7	81	58	69
<i>Max</i>	806	305	386	901	6.5	16.6	37.4	5.7	49.0	3.3	170	160	214
<i>Méd</i>	405	101	301	770	5.3	6.1	19.7	3.3	28.9	1.8	116	110	143
<i>n</i>	69	69	69	69	69	69	69	69	69	65	69	69	60

Frais													
<i>Stat</i>	MS	CT	Cell	VEM	pH	N-NH ₄ /N	N	P	K	S	IPF	IKF	ISF
	g/kg MS							(g/kg)					
<i>Moy</i>	228	98	290	869	/	/	18.6	3.2	27.3	1.8	116	106	162
<i>Et</i>	69	30	40	85	/	/	5.8	0.8	7.4	0.7	19	26	52
<i>Min</i>	147	49	207	738	/	/	10.0	1.8	7.4	0.7	76	30	78
<i>Max</i>	433	254	357	1052	/	/	38.9	5.5	49.6	3.6	163	168	264
<i>Méd</i>	204	96	293	849	/	/	17.7	3.2	26.9	1.8	119	105	148
<i>n</i>	69	69	69	69	/	/	69	69	69	65	69	69	60

Comme montré aux graphiques 1 à 7 et au tableau 4, il apparaît que malgré une variabilité non négligeable, les indices de nutrition en P, K et S des fourrages ensilés sont très hautement significativement corrélés aux mêmes indices calculés à partir des fourrages frais.

Les tests d'hypothèses réalisés sur les facteurs a et b des régressions linéaires indiquent que pour le P et le K, la constante b est égale à 0 et le paramètre a n'est pas différent de 1, ce qui valide l'utilisation des IPE et IKE sans transformation pour estimer la nutrition minérale des prairies. Pour le S, il s'avère que le facteur b est significativement différent de 1. La valeur ISF sera donc calculée à partir de ISE par la relation $ISF=1.126*ISE$. Ce dernier point peut être expliqué par la stabilité de la teneur en soufre observée entre les fourrages frais et ensilés alors que les teneurs en azote tout comme celles du P et du K sont en moyenne plus élevées dans les fourrages ensilés que dans les fourrages frais correspondants (tableau 4 et figures 1 à 4).

Tableau 4 : Régressions et évaluation des paramètres a et b des relations linéaires

		a	b	r²	n	Régression	a=1	b=0
						(p)	(p)	(p)
IP frais =	a * (IP ensilage) + b	0.958	4.811	0.676	69	0.000	0.614	0.605
	a * (IP ensilage)	0.999	/	0.674	69	0.000	0.897	/
IK frais =	a * (IK ensilage) + b	1.011	-3.981	0.657	69	0.000	0.688	0.903
	a * (IK ensilage)	0.976	/	0.656	69	0.000	0.144	/
IS frais =	a * (IS ensilage) + b	1.118	1.294	0.745	60	0.000	0.176	0.921
	a * (IS ensilage)	1.126	/	0.745	60	0.000	0.000	/
N frais	a * (N ensilage) + b	0.962	-0.842	0.748	69	0.000	0.575	0.556
	a * (N ensilage)	0.922	/	0.747	69	0.000	0.000	/
P frais	a * (P ensilage) + b	0.981	-0.075	0.839	69	0.000	0.725	0.670
	a * (P ensilage)	0.960		0.838	69	0.000	0.002	
K frais	a * (K ensilage) + b	1.029	-1.263	0.704	69	0.000	0.788	0.582
	a * (K ensilage)	0.937		0.702	69	0.000	0.001	
S frais	a * (S ensilage) + b	1.007	0.003	0.945	60	0.000	0.819	0.964
	a * (S ensilage)	1.009		0.945	60	0.000	0.579	

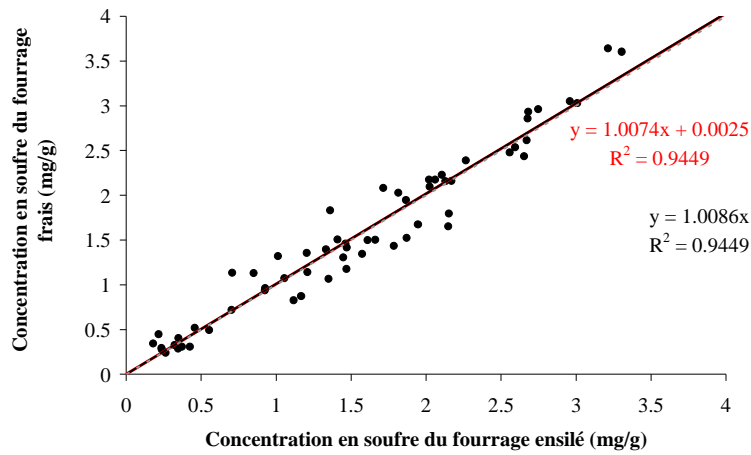


Figure 1 : Lien entre la teneur en soufre (mg/g de MS) avant et après ensilage.

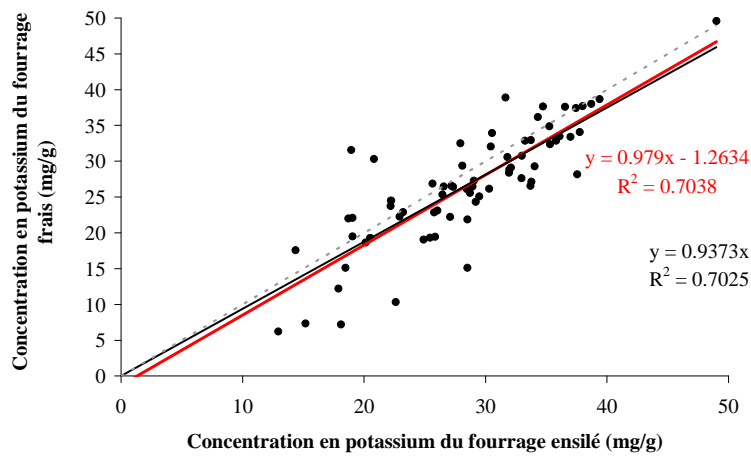


Figure 2 : Lien entre la teneur en potassium (mg/g de MS) avant et après ensilage.

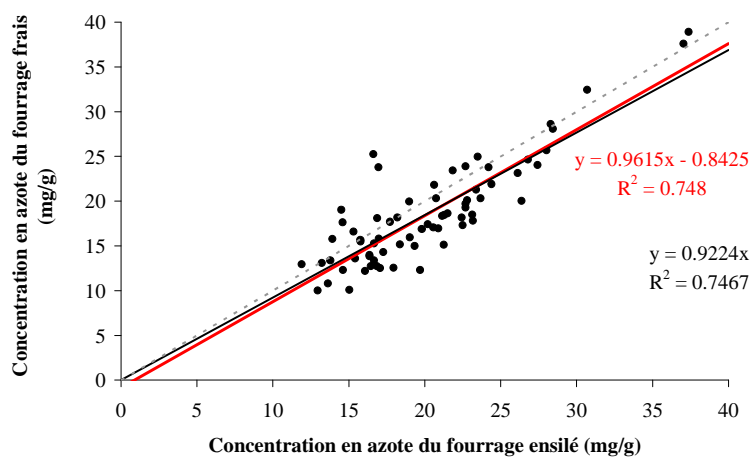


Figure 3 : Lien entre la teneur en azote (mg/g de MS) avant et après ensilage.

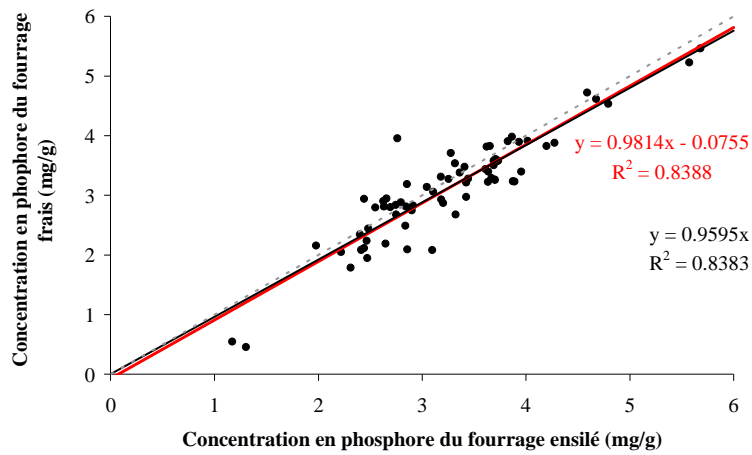


Figure 4 : Lien entre la teneur en phosphore (mg/g de MS) avant et après ensilage.

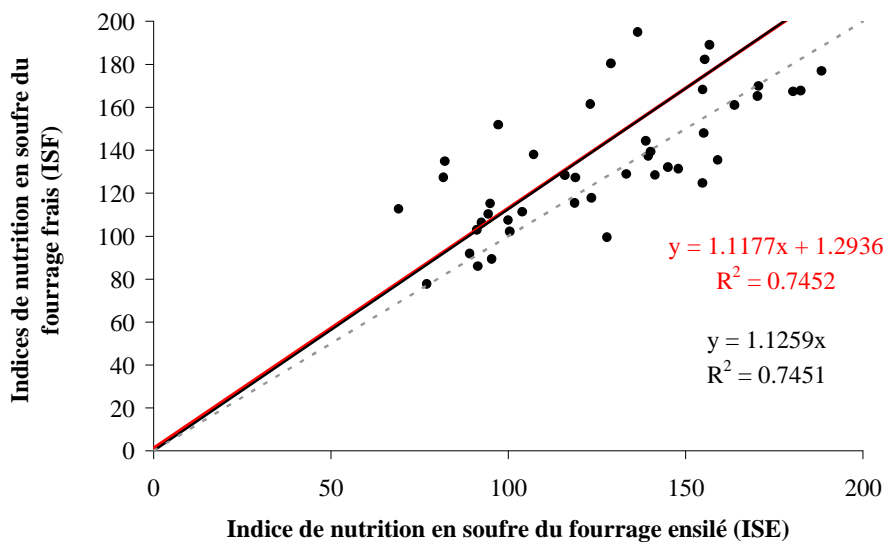


Figure 5 : Lien entre l'indice de nutrition en soufre du fourrage ensilé et frais.

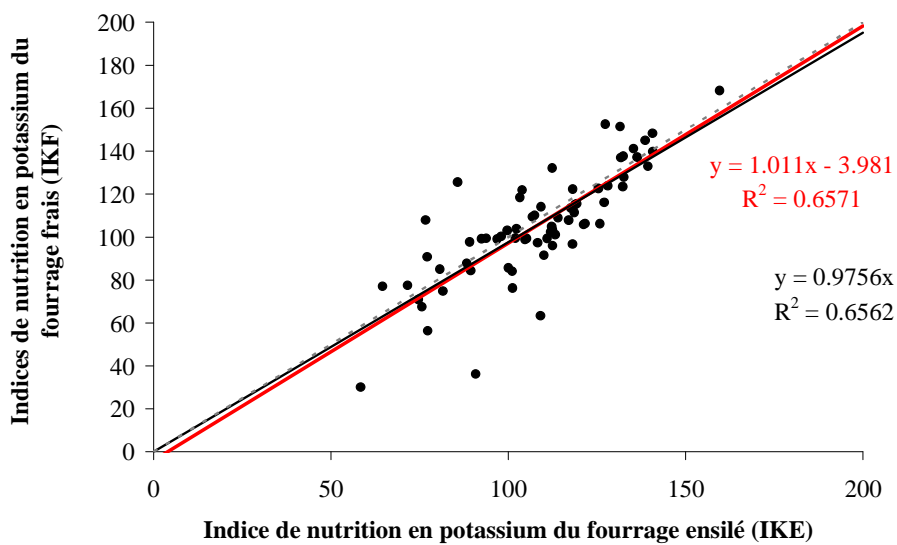


Figure 6 : Lien entre l'indice de nutrition en potassium du fourrage ensilé et frais.

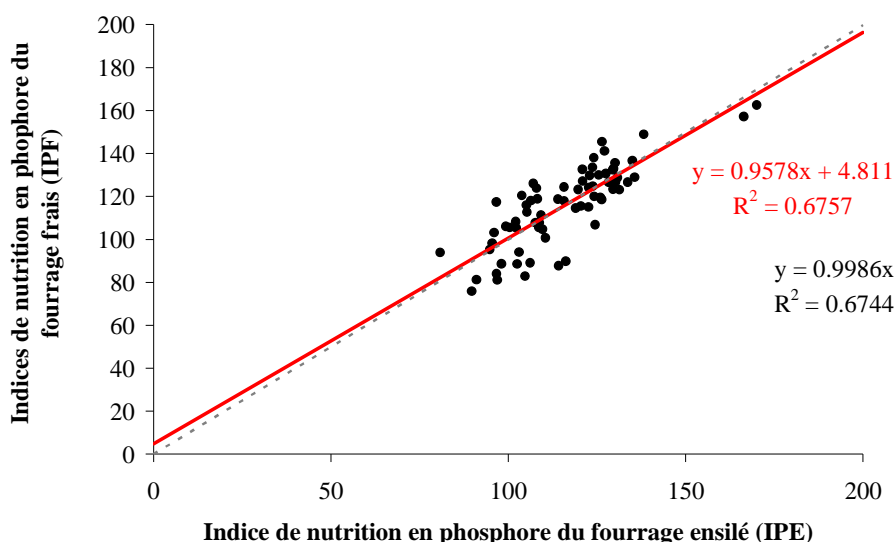


Figure 7 : Lien entre l'indice de nutrition en phosphore du fourrage ensilé et frais.

Même si les relations entre les indices avant et après ensilage sont très hautement significatives, il est à noter que la prédiction des IF à partir des IE induit une imprécision qui peut être importante. Comme montré au tableau 5, il s'avère que le risque d'erreur pour atteindre une précision de 10 sur l'estimation de l'indice d'un échantillon individuel est élevé, surtout pour le soufre. Une précision de ± 10 sur la valeur est représentative d'un saut de catégorie de diagnostic de nutrition minérale. La valeur diagnostique estimée sera donc imprécise pour un échantillon individuel. Par contre, comme montré au tableau 6, les relations sont cependant certainement suffisamment précises lorsque l'on considère de grands effectifs. Pour le P, le K et le S on a 95% de probabilité d'estimer IPF à partir de IPE avec une erreur maximale de respectivement 6, 7 et 12.

Tableau 5 : Probabilité (%) d'estimer correctement à ± 10 la valeur des IF grâce à IE.

	IPE-IPF	IKE-IKF	ISE-ISF
$X \pm 10$	62	45	38

(Dagnelie, 1970)

Tableau 6 : Intervalle de confiance avec un risque de 5% d'erreur pour l'estimation d'une moyenne de valeurs IF pour un IE donné.

	IPE-IPF	IKE-IKF	ISE-ISF
$X \pm (\alpha=5)$	6	7	12

(Dagnelie, 1970)

Afin d'améliorer la prédiction, on a testé par régressions linéaires l'effet de différents facteurs (NH_3/N ; pH et MS) sur l'écart entre la valeur réelle de l'indice (IF) et la valeur estimée (calculée grâce aux régressions définies ci-dessus). Aucune relation n'a été observée (non illustré). On se limitera donc à utiliser les relations définies ci-dessus en considérant que tout échantillon d'ensilage peut-être utilisé pour la détermination des indices de nutrition pour autant qu'il satisfasse aux conditions mentionnées ci-dessus (rendement ; teneur en N).

3.2. Application de l'outil à la base de donnée du Centre de Michamps

Sur base de ces résultats, nous avons appliqué ces indicateurs aux ensilages présents dans la base de données disponible au Centre de Michamps. Etant donné qu'à l'heure actuelle on ne réalise que très rarement des analyses de soufre sur les fourrages, les valeurs reprises ci-dessous sont celles des fourrages frais de cette étude. Pour le P et le K, on a considéré que les indices de nutrition calculés à partir des fourrages ensilés étaient égaux aux indices de nutrition calculés à partir des fourrages frais (voir ci-dessus). La base de données contient des valeurs provenant de parcelles agricoles de 4 années. Les données ont été sélectionnées de façon à correspondre aux critères d'utilisation des indices de nutrition c'est-à-dire de privilégier la première coupe, d'avoir une teneur en azote comprise entre 15 et 45 g/kg MS et d'avoir un rendement compris entre 2 et 5 t MS/ha. En ce qui concerne la teneur en azote, la sélection est aisée à partir des valeurs présentes dans la base de données. Par contre il n'y a pas d'information concernant les rendements. Le tri sur ce critère a donc été effectué sur la date de coupe. On a sélectionné les parcelles fauchées entre le 15 mai et le 10 juin inclus. Ces dates correspondent, selon Lambert (2001), à des rendements potentiels d'environ respectivement 2 et 5 tonnes de matière sèche par ha pour une première coupe. Les coupes suivantes n'ont pas été prises en compte étant donné l'influence de certains facteurs tels que la sécheresse sur les indices de nutrition et la difficulté d'estimer les rendements qui sont fonction notamment de la durée de la repousse.

Tableau 7. Valeurs moyennes, écart type, maximum et minimum des indices de nutrition en P (IP) et K (IK) calculés à partir d'analyses d'ensilage de la base de donnée du Centre de Michamps pour les années 2005 à 2008. Les valeurs IS correspondent aux analyses de fourrages frais prélevés dans le cadre de cette étude, soit uniquement en 2008.

Année	IP				IK				IS			
	Moy	Max	Min	Nb	Moy	Max	Min	nb	Moy	Max	Min	Nb
2005	115 (7)	123	100	12	99 (16)	126	69	12				
2006	110 (14)	145	81	114	102 (18)	155	66	114				
2007	110 (12)	157	50	107	99 (14)	135	57	107				
2008	106 (11)	162	75	101	98 (15)	136	58	101	147 (43)	264	86	44

En tout, 334 données ont été utilisées. Elles sont réparties sur 4 années (tableau 7) et représentent les prairies du sud-est de la Belgique (base de données du Centre de Michamps). Au total des 4 années, la valeur moyenne de IP est de 109. Celle de IK est de 99. En ce qui concerne le phosphore, seul 1% des fourrages analysés a un IP inférieur à 80 alors que 79% sont supérieurs à 100 (figure 8). Pour IK, ces valeurs sont respectivement de 13 et 52 % (figure 9). Pour le soufre, 91% ont un IS supérieur à 100 et 0% inférieur à 80 (figure 10). Les seuils de déficience sont toutefois différents de ceux définis pour IK et IP (voir ci-dessous). Par ailleurs, les données pour le soufre sont toutes de 2008. Elles sont relativement peu nombreuses et une variabilité de nutrition en soufre importante peut être observée suite aux conditions climatiques (précipitations hivernales, retombées en S)..

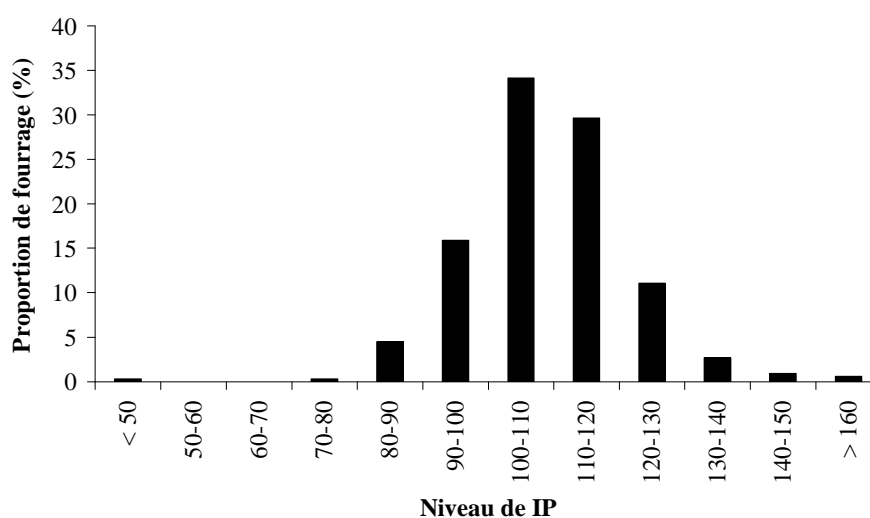


Figure 8 : Répartition des fourrages en fonction de leur indice de nutrition en phosphore

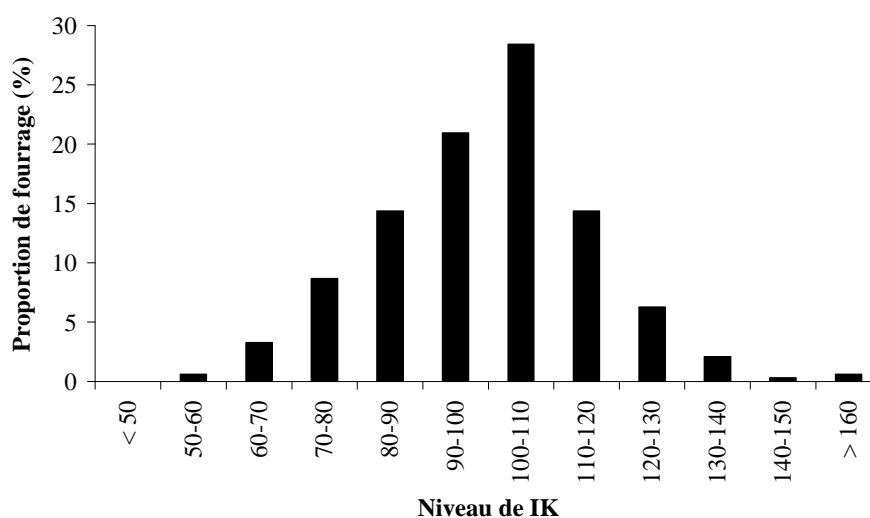


Figure 9 : Répartition des fourrages en fonction de leur indice de nutrition en potassium

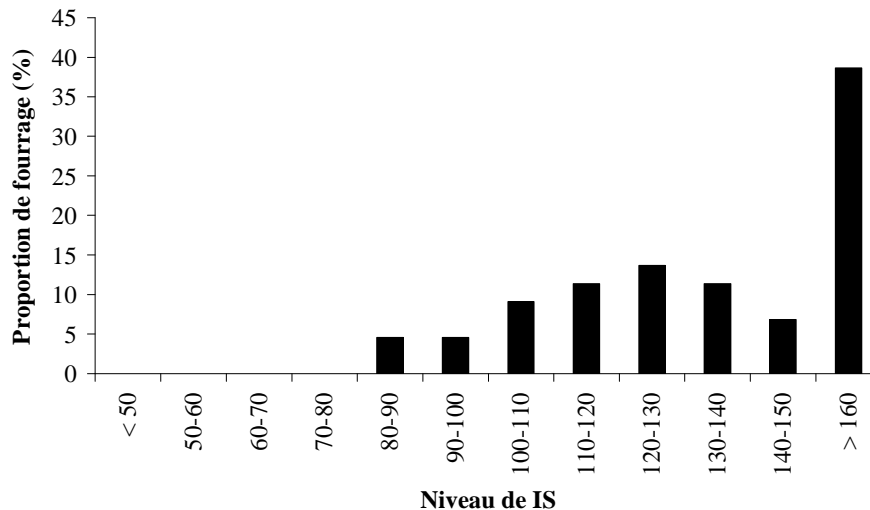


Figure 10 : Répartition des fourrages en fonction de leur indice de nutrition en soufre

4. Discussion

Les observations réalisées dans le cadre de cette étude indiquent que les indices de nutrition peuvent être appliqués aux ensilages sans modification de calculs pour le P et le K alors que pour le S on retiendra que $ISF=1.126*ISE$, avec ISF qui est l'indice de nutrition réel et ISE l'indice de nutrition calculé à partir de l'analyse de l'ensilage. Cependant, étant donné l'imprécision des estimations, il est délicat de donner un diagnostic précis pour une parcelle à partir d'un seul échantillon alors qu'on pourrait utiliser la technique à l'échelle d'une région à partir de bases de données. Il est toutefois à noter que la variabilité observée n'est pas nécessairement à imputer au processus d'ensilage et que la technique d'échantillonnage a probablement un impact non négligeable. En effet, pour l'analyse du fourrage frais les échantillons étaient prélevés en plusieurs points des parcelles. Par la suite, on a procédé à un sous-échantillonnage dans le fourrage récolté pour la constitution de l'échantillon à analyser. Cette procédure permettait d'intégrer une grande variabilité liée à la parcelle. Par contre, l'échantillon d'ensilage analysé était le fourrage prélevé dans une seule boule ou balle par un coup de sonde à fourrage (diamètre 4 cm), ce qui ne représente qu'une partie plus restreinte de la parcelle. Des essais réalisés dans le cadre d'autres expérimentations ont montré qu'en procédant de la sorte dans différentes boules provenant d'une même parcelle, on obtenait un coefficient de variation de l'ordre de 10% pour les teneurs en minéraux P et K.

En ce qui concerne l'application aux bases de données, les résultats doivent être interprétés en prenant en considération différents aspects. Il faut tout d'abord que les analyses de fourrage

correspondent aux critères de validité établis (teneur en N, rendement) ; ensuite, dans le cas où, comme dans cette étude, on n'a pas d'information sur la composition du couvert, il faut garder à l'esprit que les indices de nutrition décroissent avec une teneur en dicotylée croissante alors que l'état réel de nutrition du couvert est inchangé (Jouany et al., 2005). Ce point a pour conséquence qu'en présence de légumineuses on sous-estime l'état réel de nutrition en P et K du fourrage. Dans le cas de notre exemple avec les données du Centre de Michamps, étant donné qu'il y a certainement des prairies contenant des légumineuses, l'état de nutrition en P et K moyen des prairies considérées est donc probablement sous-estimé. Jouany (2005) conseille qu'à partir du moment où la proportion de légumineuses représente plus de 20% de matière sèche, on procède à une correction des indices de 0.5 point par pourcent légumineuses. Il serait dès lors utile de disposer de systèmes simples comme la SPIR pour évaluer la proportion de légumineuses dans les fourrages afin d'améliorer la méthode.

Dans l'objectif de pouvoir piloter la fertilisation à partir des indices de nutrition, Duru et Théliier Huché (1995) considèrent que, pour le P et le K, lorsque l'indice est supérieur à 100, il y a consommation de luxe et donc peu de probabilité d'observer un accroissement de rendement suite à une fertilisation en l'élément considéré. Un indice proche de 100 est considéré comme satisfaisant. Lorsque l'indice est inférieur à 80, la nutrition en l'élément est insuffisante pour la croissance, une fertilisation aurait certainement permis un gain de rendement. Pour le soufre, étant donné que la technique de définition de l'indice est différente, on ne doit pas se baser sur ces mêmes critères. A partir des résultats publiés par Mathot et al., (in press) on peut estimer qu'en moyenne, pour un indice compris entre 100 et 109 on pouvait encore obtenir un gain de rendement de 10% de matière sèche dans 73% des cas. Entre 87 et 100 une fertilisation accroît dans 80% des cas le rendement. En dessous de 87 une fertilisation soufrée doit être appliquée (98% de probabilité de gain de rendement). On pourrait donc conseiller une fertilisation en S pour des IS inférieurs à 110 si on cherche à maximiser le rendement.

Etant donné que le diagnostic est établi post récolte, le conseil de fertilisation porterait sur l'année suivante tout en sachant qu'une modification de la pratique culturale (fertilisation N, retournement) aurait une grande influence sur l'impact de la fertilisation proposée. Il faudrait également tenir compte des variations climatiques qui vont influencer les rendements potentiels mais également la disponibilité de certains éléments comme le soufre via les retombées atmosphériques ou le lessivage durant la période hivernale.

Finalement, on peut conclure que les indices de nutrition peuvent être appliqués tels que pour le P et le K aux fourrages ensilés pour l'estimation de la nutrition minérale des bases de données prairies. Pour le S une correction doit être appliquée. Il faut cependant garder à

l'esprit que cette technique induit une variabilité supplémentaire. Les résultats doivent donc être discutés au regard de cette variabilité. Il y a également lieu de s'assurer que les conditions d'utilisation des indices (coupe, rendement, teneur en azote) soient respectées et de tenir compte de la proportion en légumineuses des fourrages.

5. Remerciements

Merci à DGARNE pour le soutien financier, aux nombreux agriculteurs qui ont collaboré à cette recherche, à Olivier Imbrecht pour ses conseils et au Centre de Michamps pour la mise à disposition de sa base de données.

6. Références

Brown, L., Scholefield, D., Jewkes, E.C., Preedy, N., Wadge, K., Butler, M., 2000. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. *Journal of Agricultural Science* 135, 131–138

Dagnelie, P., 1975. *Analyses Statistiques à Plusieurs Variables*. Presses Agronomiques 299 de Gembloux, Gembloux.

Etat de l'Environnement Wallon, 2007. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW-DGRNE, Namur, 736 p.

Duru, M., Thélier Huché, L., 1997. N and P-K status of herbages: use for diagnosis of grasslands. Diagnostic procedures for crop N management. In: Inra (Ed.), *Les colloques de l'Inra*, 125–138.

Jouany C., Cruz P., Theau J.P., Petibon P., Foucras J., Duru M., 2005. Diagnostic du statut de nutrition phosphatée et potassique des prairies naturelles en présence de légumineuses. *Fourrages* 184, 547-555 (in french).

Lambert R., 2001. Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. Thèse de doctorat. UCL 97 p.

Mathot, M., Lambert R., Toussaint B., Peeters A., 2005. Influence de la fumure soufrée sur le rendement et la qualité des herbages. Convention RW-1014, Rapport final d'activité. 48 p.

Mathot, M., Mertens, J., Verlinden, G., Lambert, R., 2008. Positive effects of sulphur fertilisation on grasslands yields and quality in Belgium. *European Journal of Agronomy* 28 (4), 655–658.

Mathot M., Thélier-Huché L., Lambert R., 2009. Sulphur and nitrogen content as sulphur deficiency indicator for grasses. *European Journal of Agronomy* (in press)

Requasud, 2007. Base de donnée Requasud, <http://requasud.craw.wallonie.be>.

Salette, J.E., Thélier, L., 1991. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal: principes, mise en oeuvre, exemples. *Fourrages* 125, 3–18.