

Diagnostic agronomique et agro-environnemental des successions culturales en Wallonie (Belgique)

Béatrice Leteinturier ⁽¹⁾, Bernard Tychon ⁽²⁾, Robert Oger ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centre wallon de Recherches agronomiques. Section Biométrie, Gestion des Données et Agrométéorologie. Rue de Liroux, 9. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : leteinturier@cra.wallonie.be

⁽²⁾ Université de Liège. Département Sciences et Gestion de l'Environnement. Avenue de Longwy, 185. B-6700 Arlon (Belgique).

Reçu le 19 avril 2006, accepté le 10 octobre 2006.

La succession culturale, reconnue comme une notion fondamentale assurant un équilibre tant agronomique au niveau parcellaire qu'agro-environnemental au niveau de l'agro-écosystème, est analysée à l'échelle des régions agricoles qui composent le territoire de la Wallonie (Belgique). L'étude vise à dresser un diagnostic des performances qualitatives des successions culturales, à travers l'analyse individuelle de plusieurs de leurs composantes explicatives telles la qualité des précédents culturaux sur les cultures suivantes, le temps de retour moyen des cultures, le nombre de cultures apparaissant au cours de la succession et enfin la durée des périodes interculturelles. Ces quatre composantes sont analysées à l'échelle parcellaire, les résultats étant agrégés au niveau régional. L'étude porte à la fois sur une analyse spatiale basée sur une période de 7 années, ainsi que sur une analyse temporelle visant à observer une éventuelle évolution, région par région, au cours de deux périodes successives de même durée. L'état des lieux ainsi dressé révèle des différences spatiales en termes de pratiques liées aux successions culturales, par contre, une quasi-stabilité dans le temps des paramètres analysés découle des résultats obtenus. Par ailleurs, si ces résultats contribuent à enrichir un état des lieux de l'agriculture en Wallonie, ils peuvent en outre servir de valeurs de référence pour un suivi global de l'évolution des pratiques agricoles régionales.

Mots-clés. Succession culturale, rotation, agro-environnement, LPIS, interculture, précédent cultural, Wallonie, Belgique.

Agronomical and agro-environmental diagnosis of crop sequences in Wallonia (Belgium). Crop sequence, recognized as a fundamental concept providing a balance both agronomic at parcel level and agro-environmental at the agro-ecosystem level, is analyzed on the scale of the Walloon agricultural regions (Belgium). This study aims to make a diagnosis of the qualitative performances of crop sequences, through the individual analysis of some of their explanatory components such as the effect of the previous crop on the next one, the observed return time of the re-occurring crops, the number of crops observed during the sequence and finally the duration of intercrop period. These four components are analyzed at parcel level, the results being aggregated at regional level. Study concerns both a spatial analysis based on a period of 7 years, and a temporal analysis aiming to observe a possible evolution, region by region, during two successive and equivalent periods. The drawn up appraisal reveals spatial differences in terms of practices linked to crop sequences, on the other hand, one quasi temporal stability of the analyzed parameters emerges from obtained results. Besides, these results constituting a contribution to an appraisal of the agriculture in Wallonia may serve as reference values for an evolution of regional agricultural practices global follow-up.

Keywords. Crop sequence, rotation, agro-environment, LPIS, intercrop, previous crop effect, Wallonia, Belgium.

1. INTRODUCTION

La rotation des cultures vit le jour en Europe au XI^e siècle, alors que les sociétés féodales se développaient selon un schéma pyramidal (Remet, 2004). Depuis, le concept de succession culturale n'a cessé d'évoluer. Dans le cadre de systèmes de polyculture-élevage, la rotation agricole était très pratiquée. Une tendance à l'abandon de cette pratique s'est cependant amorcée lorsque l'agriculture intensive s'est développée à travers la mise en place de pratiques de monoculture. Selon Stoate *et al.* (2001), il a découlé de cette simplification des systèmes culturaux, des conséquences majeures pour la biodiversité des écosystèmes arables et, sur un plan paysager, un déclin de la diversité des paysages. Depuis, le concept récent d'agriculture durable cherche à offrir un souffle nouveau à la rotation culturale. C'est ainsi que, parmi les méthodes de production respectueuses de l'environnement, encouragées par les programmes agri-environnementaux ayant vu le jour dans l'Union Européenne en 1992 avec la première réforme de la PAC, une gestion saine des rotations culturales pour prévenir la pollution des eaux souterraines, constituait un des objectifs à atteindre (Piorr, 2003). Depuis lors, la mesure agri-environnementale dite « rotationnelle », relevant de la politique de développement rural conduite par l'Union européenne (« second pilier » de la PAC), apparue récemment en France, se trouve appliquée d'ores et déjà dans 10 régions de ce pays (DRIAF Ile de France, 2004 ; DDAF Ardennes, 2004). En Allemagne, parmi les actions menées pour réduire les pollutions d'origine agricole, la rotation des cultures est favorisée au même titre que la limitation du recours aux fertilisants (Gerowitt *et al.*, 2003).

L'intérêt du concept de rotation culturale réside dans le fait qu'il relève pleinement de la notion de production intégrée comme mentionné par El Titi *et al.* (1993) et Boller *et al.* (1997). Cette notion consiste à « produire de façon économiquement viable des produits de bonne qualité, respectueux de l'environnement » (Habib, 2003), garantissant une production durable avec des résidus minimes en pesticides, permettant de maintenir une assez bonne diversité biologique au sein des agro-écosystèmes concernés, donnant la priorité à l'utilisation de mécanismes régulateurs naturels et préservant la fertilité des sols à long terme.

Ainsi, d'un point de vue agronomique, la rotation agricole est un élément important du maintien ou de l'amélioration de la fertilité des sols et constitue un atout pour l'augmentation des rendements. En effet, la succession des cultures agit sur le sol en :

- contribuant à rompre le cycle vital des organismes nuisibles aux cultures : aussi diversifiée que possible, la rotation restreint les agents pathogènes et les adventices (Boller *et al.*, 1997, Gerowitt, 2003) ;
- améliorant la structure du sol : grâce aux systèmes

racinaires variables développés par les différentes cultures, le profil du sol est mieux exploré, ce qui se traduit notamment par une amélioration de la structure du sol (moins de compaction et de dégradation) (Hamza, Anderson, 2005) et finalement par une meilleure nutrition des plantes ainsi que par une augmentation de la séquestration du carbone de l'atmosphère (Dendoncker *et al.*, 2004) ;

- enrichissant le sol en éléments nutritifs : d'une façon générale, la composition des différents résidus de cultures participe à la qualité de la matière organique du sol, en particulier, l'emploi de légumineuses permet l'ajout d'azote symbiotique dans le système ;
- rendant les sols moins vulnérables à l'érosion : une rotation incluant des cultures sarclées et des céréales permet de réduire les pertes de sol par rapport à une monoculture en rang, l'intérêt est encore plus marqué si la rotation inclut des herbages (Stone, Moore, 1996).

De plus, il est évident que le concept de rotation, contrairement à la monoculture, offre au paysage un aspect varié en mosaïque (Paoletti, 1999) favorable à la biodiversité (Albrecht, 2003).

Pour les régions d'Europe occidentale, différentes approches scientifiques se sont intéressées tant à la composition qu'à la qualité des successions culturales. Par exemple, des études récentes ont fait appel à la télédétection pour spécifier le type de cultures en place et la présence de couverts hivernaux (Astrand, Baruth, 2002). Concernant l'évaluation de la qualité de la rotation, parmi les recommandations émises par l'OILB (l'Organisation Internationale de Lutte Biologique et intégrée contre les Animaux et les Plantes Nuisibles), pour une production intégrée des cultures en Europe, un certain nombre d'indications ou de règles en matière de successions culturales sont mentionnées ; elles concernent notamment le temps de retour minimum recommandé des principales cultures (Boller *et al.*, 1997). Pour la mise en place de systèmes de productions arables intégrées et écologiques (I/EAFS), Vereijken (1997) considère la notion de « rotation culturale multifonctionnelle » (MCR) comme un concept majeur pouvant jouer un rôle essentiel. Cet auteur propose de baser la rotation culturale multifonctionnelle sur la sélection d'un ensemble de cultures *ad hoc* requérant un minimum d'intrants et permettant de garantir la fertilité du sol et la vitalité culturale comme base d'une production de bonne qualité.

Cependant, si les avantages tant agronomiques qu'agro-environnementaux d'une « bonne » rotation culturale sont des notions connues et acceptées par le monde agricole, la mise en œuvre de celle-ci, en tenant compte des conditions locales, reste complexe. D'ailleurs, les adjectifs attribués à cette notion par

l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) lors de la définition d'une « Agriculture de Conservation des sols » (« l'adoption judicieuse de cultures dans une rotation suffisamment longue » (Chevrier, Barbier, 2002)) révèlent la double difficulté que revêt ce concept, à savoir le choix même des cultures successives mais également la durée du cycle de rotation. Klein Haneveld et Stegeman (2005) ont établi un modèle mathématique définissant les besoins en terme de successions culturales ainsi que les séquences de cultures inappropriées. Néanmoins, la modélisation de la rotation des cultures reste rare. Cette constatation s'explique par la difficulté évidente d'accès à l'information historique et du traitement de cette dernière. Concernant la Belgique, l'évaluation de la qualité des successions culturales, parcelle par parcelle, a déjà fait l'objet d'une recherche en soi (Leteinturier *et al.*, 2006). Cette dernière étude a permis de démontrer, pour le suivi de l'état de l'agriculture dans le temps et plus particulièrement pour l'évaluation de la qualité des successions culturales, l'intérêt du recours au système d'information géographique mis en place pour l'identification des parcelles (LPIS¹). Réalisée sur la base d'un indicateur résultant de la méthode *Indigo* (Bockstaller, Girardin, 2003) ayant subi une adaptation aux conditions pédo-climatiques wallonnes, l'évaluation de la qualité des successions culturales à l'échelle de la parcelle telle que présentée par Leteinturier *et al.* (2006) se base sur un indicateur global dont chacune des composantes explicatives est minutieusement décrite.

Le présent article a pour objet d'analyser certains paramètres explicatifs de la qualité des successions culturales dans l'espace et dans le temps à l'échelle des régions agricoles couvrant le territoire de la Wallonie. Il s'agit en l'occurrence de mettre en évidence les éventuelles tendances agronomiques (ordre d'apparition des cultures, fréquences de ces dernières ...) et agro-environnementales (durée de l'interculture ...) qui y sont liées et de dresser un état des lieux de la situation, région agricole par région agricole.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Rappels conceptuels

Comme signalé par Leteinturier *et al.* (2006), le principe de « succession culturale » renvoie à celui de

« rotation » dans le sens où il s'agit dans les deux cas de l'ordre d'apparition des cultures sur la même parcelle. Toutefois, le terme « rotation » sous-entend une notion de cycle, lequel débiterait par une « tête de rotation » bien identifiée et serait caractérisé par une période de retour : la rotation peut être triennale, quadriennale, quinquennale... La notion de « succession culturale » telle que nous l'entendons est plus simple puisqu'elle se limite à l'ordre d'apparition des cultures durant une période figée. Ainsi, une succession culturale peut connaître le développement partiel ou total d'un cycle de rotation, voire être le siège de plusieurs cycles. Pour des raisons de facilité de traitement de l'information, nous avons opté pour la notion de succession culturale sans pour autant perdre de vue celle de rotation qu'elle sous-entend.

2.2. Matériel

L'outil permettant de suivre la succession des cultures en région wallonne est le parcellaire du SIGEC (Système Intégré de Gestion et de Contrôle) ou LPIS défini précédemment. Ce système d'information géographique offre une information spatialisée annuelle de l'occupation des terres agricoles. Le LPIS est considéré comme fiable tant d'un point de vue déclaratif que surfacique. En effet, chaque année, 7 % des parcelles qui le constituent font l'objet d'un contrôle des superficies et des cultures déclarées (Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne, communication personnelle). Ainsi, la culture annuelle principale affectée à chaque parcelle y est mentionnée. Au total, 62 types d'occupation du sol y figurent.

Pour une bonne signification des résultats et compte tenu de l'exigence de certaines cultures, des rotations longues doivent être envisagées. C'est pourquoi la présente étude se base sur une période de 7 années et a, par conséquent, recours à 7 parcellaires consécutifs.

2.3. Méthodes

Un diagnostic agro-environnemental spatialisé et évolutif, portant sur la problématique des successions culturales en Wallonie, est envisagé pour les régions agricoles qui la composent. Le choix de cette échelle d'expression des résultats a été motivé par le fait que les régions agricoles sont caractérisées par des conditions pédo-climatiques propres relativement homogènes, conditions déterminantes des pratiques agricoles. La répartition géographique des régions agricoles wallonnes est présentée à la **figure 1**. Seule la région de Haute-Ardenne n'a pas été prise en considération compte tenu du fait que la superficie agricole concernée par les cultures de rotation y est dérisoire (23 ha) par rapport à la superficie correspondante allouée aux autres régions agricoles.

¹ LPIS (Land Parcel Identification System) : couche d'information géographique annuelle précisant la localisation des limites de parcelles et attribuant à chacune d'entre elles un identifiant en plus d'autres informations pertinentes telles leur superficie et la culture principale emblavée.

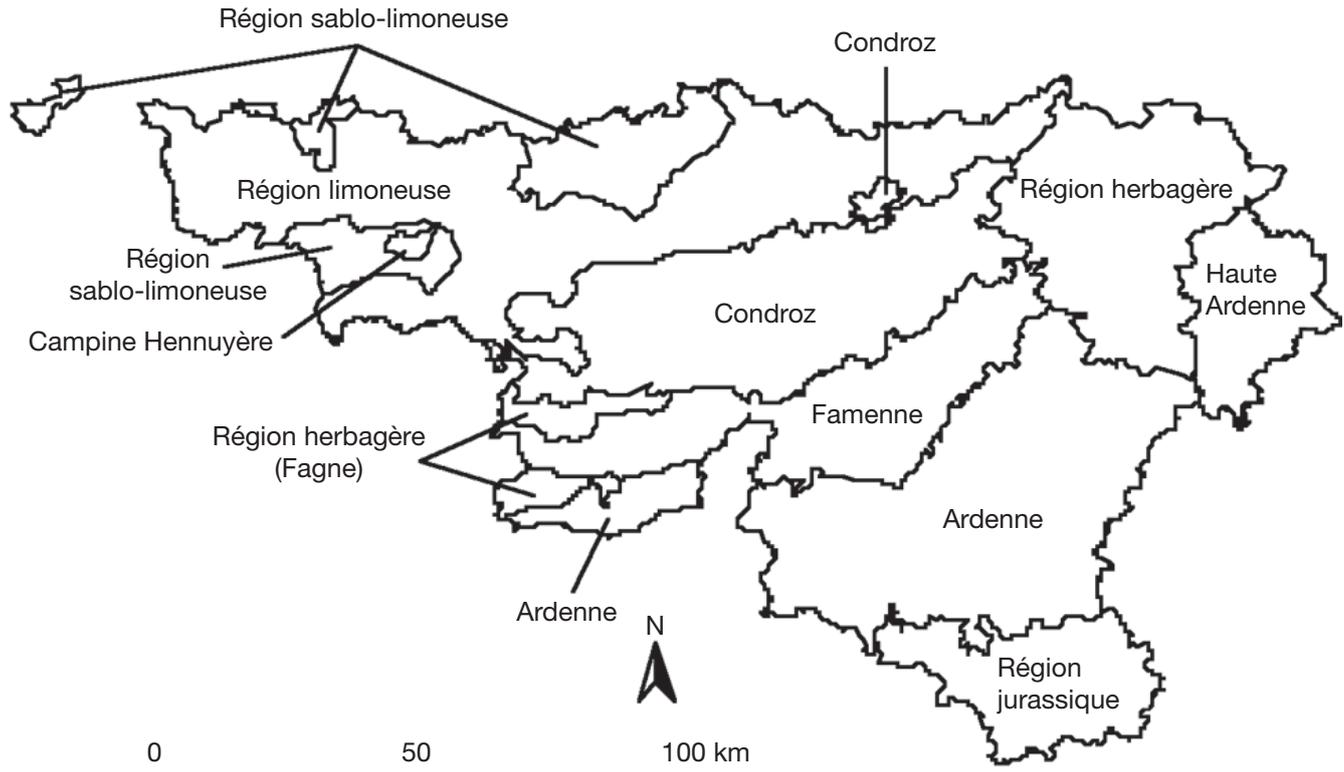


Figure 1. Les régions agricoles wallonnes — *Walloon agricultural regions.*

Procédure technique. La succession culturale ayant lieu sur chaque parcelle a pu être établie grâce à une superposition géographique des 7 parcellaires agricoles (LPIS) en question. Ainsi, un croisement géographique de type intersection a été réalisé successivement entre ces différentes couches d'informations. L'entité résultante suivie est la sous-parcelle qui constitue le polygone d'intersection, résultat des croisements successifs.

Préalablement au calcul des paramètres explicatifs présentés ci-après, une sélection a dû être opérée parmi les polygones d'intersection obtenus. D'une part, les prairies permanentes ne sont pas prises en considération car elles ne font pas partie intégrante d'un cycle de rotation. De même, les prairies temporaires, trop souvent déclarées comme telles en lieu et place des prairies permanentes, sont exclues du calcul. Par ailleurs, certaines cultures ou occupations du sol mentionnées sur le parcellaire ne sont pas prises en considération car il s'agit soit de cultures marginales en Wallonie, soit d'appellations vagues. Enfin, ne sont pas considérés un ensemble innombrable de petits polygones d'intersection (résultant en fait de modifications mineures des limites des parcelles (quelques mètres), d'erreurs de digitalisation, d'approximations réalisées par des opérations de « snapping » ...). Une dimension minimale de 30 ares est retenue. Toutefois, si cette limite permet d'éviter de considérer dans le calcul la majeure

partie des polygones « parasites », un certain nombre de polygones d'intersection existant réellement se trouvent rejetés à tort. Il s'agit donc d'un compromis entre l'intention d'éliminer l'essentiel des « faux » polygones et de perdre le minimum de polygones réels. L'erreur commise ne peut être trop élevée puisque la superficie des polygones d'intersection de dimension inférieure à 30 ares représente 2,5 % de la surface des parcelles agricoles déclarées en 2003. Aussi, nous considérons cette approximation sans conséquence notable sur la représentativité des résultats.

Finalement, la superficie totale soumise au calcul représente 33 % (soit environ 238 100 ha) de la surface agricole utile totale (SAU), 50 % de la SAU étant déjà représentée par des prairies.

Principe méthodologique et définitions. En Wallonie, les successions culturales observées sur une période de 7 ans sont excessivement nombreuses (du fait des 62 occupations de sol possibles) et, si certaines d'entre elles sont plus fréquentes que d'autres, aucune ne domine réellement. Aussi, plutôt que de dresser un inventaire des successions culturales observées, il a paru plus opportun de caractériser celles-ci à l'aide de paramètres pertinents. Certains de ces paramètres répondent à une préoccupation de nature agro-environnementale (c'est-à-dire qu'ils mesurent, pour certains aspects, l'impact de l'agriculture sur l'environnement) :

le nombre de cultures différentes apparaissant dans la succession et la durée de la période interculturelle. D'autres paramètres envisagés répondent davantage à des préoccupations agronomiques fondamentales que le concept de succession de cultures impose. Il s'agit en l'occurrence de la qualité du précédent cultural à l'égard de la culture suivante et du temps de retour de chaque culture survenant au cours de la succession.

Paramètres permettant une caractérisation agronomique de la succession.

La qualité du précédent cultural. Pour chaque couple « culture – culture précédente », l'effet de la culture précédente sur la suivante a été défini selon les modalités précisées par Bockstaller et Girardin (2003) et présentées au **tableau 1**. La dégradation de la structure du sol, l'augmentation du développement de maladies, de ravageurs ou d'adventices, la réduction de l'azote disponible des résidus², le risque de verse pour la culture suivante et l'effet sur la qualité de récolte de celle-ci sont autant d'effets négatifs du précédent cultural pris en considération tandis que l'amélioration de la structure du sol, la réduction des maladies, des ravageurs ou des adventices, l'augmentation de l'azote disponible pour la culture suivante, azote provenant des résidus de récolte du précédent, sont considérées comme des effets positifs. Une valeur caractérisant la qualité de la culture précédente sur la suivante est alors déduite de la valeur totale de l'effet du précédent cultural obtenue à l'aide des critères d'appréciation mentionnés au **tableau 1**, et ce, grâce à une table de correspondance (**Tableau 2**). D'une manière générale, meilleure est la qualité du précédent d'une culture sur la suivante, plus élevée est la valeur qui lui est attribuée, celle-ci pouvant varier entre 1 et 6.

Pour les conditions wallonnes, pour chaque couple « culture – culture suivante », l'effet de la première

Tableau 1. Mode de détermination de la valeur du précédent cultural — *Determination of previous crop value* (Bockstaller, Girardin, 2003).

Effet du précédent	Notation (en valeur entière)
Structure du sol	-1 à +1
Maladies	-3 à +1
Ravageurs	-2 à +1
Adventices	-2 à +1
Azote (résidus de récolte)	-1 à +1
Total (valeur du précédent)	Somme

² Notons que si d'un point de vue agronomique, la disponibilité de l'azote dans le sol pour la culture suivante est considérée comme un facteur positif, dans un souci environnemental, celle-ci ne pourrait être perçue que négativement.

Tableau 2. Relation entre la valeur du précédent cultural et la qualité du précédent cultural — *Relationship between previous crop value and previous crop quality* (Bockstaller, Girardin, 2003).

Valeur du précédent (cf tableau 1)	≤ -4	-3	-2	-1	0	≥ 1
Qualité du précédent	1	2	3	4	5	6

culture sur la suivante a été évalué par Leteinturier *et al.* (2006) selon les critères d'évaluation énumérés ci-avant. Aussi, pour l'évaluation d'une succession culturale, une valeur moyenne issue des évaluations successives de la qualité des précédents culturaux survenant dans la succession de 7 années est attribuée à celle-ci.

Le temps de retour moyen par culture. Ce paramètre correspond au temps de réapparition moyen de la culture principale notée la dernière année de la succession culturale (1997–2003). Par souci d'évaluation de la qualité des valeurs obtenues, ce temps de retour se trouve comparé à une valeur de référence proposée par Leteinturier *et al.* (2006) et correspondant au temps de retour minimum recommandé pour chaque culture en Wallonie. Bien sûr, il est souhaitable que le temps de réapparition moyen calculé soit supérieur à la valeur de référence.

Paramètres à caractère agro-environnemental.

Le nombre de cultures. Il s'agit simplement du nombre de cultures différentes observées sur une même sous-parcelle ou polygone d'intersection au cours de la période considérée. Ce paramètre traduit la diversité culturale observée au niveau sous-parcellaire dans le temps et par voie de conséquence, au niveau paysager dans l'espace. Elle est d'autre part intéressante d'un point de vue agro-environnemental du fait qu'une agriculture diversifiée, *a contrario* de systèmes de productions hyper spécialisés, favoriserait la diversité biologique (CCE, 2001).

La durée de la période interculturelle. L'interculture moyenne, ou période séparant deux cultures principales successives, est calculée à partir des dates de semis et de récolte moyennes déterminées au niveau des régions agricoles grâce à l'expertise du Centre wallon de Recherches agronomiques. Cette information fournit une information relative à la part de la superficie des terres arables dépourvues de couverture hivernale en l'absence de cultures intercalaires.

D'une manière générale, pour l'expression des résultats à la région agricole, les valeurs obtenues au niveau des polygones d'intersection ont été agrégées à l'aide d'une pondération surfacique.

Les paramètres envisagés ont été soumis à une analyse spatiale et/ou temporelle.

L'analyse spatiale est basée sur la seule période 1997–2003. Elle permet de visualiser, sur l'ensemble du territoire de la Wallonie, ainsi qu'à l'échelle des régions agricoles, les valeurs obtenues pour les paramètres concernés.

L'analyse temporelle est, quant à elle, basée sur deux périodes successives d'une durée de 4 ans, à savoir 1997–2000 et 2000–2003. Elle est destinée à mesurer l'évolution éventuelle des pratiques en terme de successions culturales, pratiques reflétées par les paramètres mesurés région agricole par région agricole. Pour l'analyse temporelle, chaque paramètre concerné est soumis à une analyse statistique, laquelle permet de déceler une évolution significative ou non des valeurs obtenues au niveau des régions agricoles au cours des deux périodes d'observation. Selon le type de données, les tests envisagés sont d'une part une analyse de la variance à un critère ou, d'autre part, un test d'égalité de plusieurs proportions (χ^2) (Dagnelie, 1975).

Notons qu'à l'exception du paramètre « temps de retour moyen par culture », l'ensemble des paramètres sont soumis aux deux types d'analyses, temporelle et spatiale. Le paramètre « temps de retour moyen par culture » ne peut en effet se prêter qu'à une analyse spatiale, puisque, pour de nombreuses cultures, une période de 4 ans est jugée trop courte pour apprécier leur période de retour par rapport à un temps de retour minimum recommandé. En effet, un cycle complet de type rotation longue (en Région wallonne, la valeur maximale atteinte par le temps de retour recommandé de certaines cultures, par exemple : pois sec, est de 6 ans) impose pour ce paramètre, une analyse basée sur 7 ans.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse spatiale

Le nombre de cultures. Le **tableau 3** présente, par région agricole, la proportion surfacique allouée au nombre de cultures principales observées sur les parcelles durant les 7 années de la période 1997–2003. Pour l'ensemble de la région wallonne, les fréquences d'observation les plus élevées sont celles qui correspondent à 4 (avec 42 %), 3 (avec 34 %), puis 5 cultures (avec 19 %). Le nombre de parcelles concernées par 1, 2 ou 6 cultures est faible, tandis que la proportion de parcelles comportant 7 cultures est nulle. Assez logiquement, les régions agricoles les plus importantes en matière de représentativité de terres arables adoptent une répartition des proportions assez semblable à celle observée pour l'ensemble de la région wallonne. Il s'agit particulièrement des régions limoneuse, sablo-limoneuse et du Condroz. Par contre, la représentation de successions culturales caractérisée par seulement 1 ou 2 cultures principales apparaît comme beaucoup plus fréquente en Ardenne et en Région herbagère. Le profil, en terme de nombre de cultures, des régions herbagères (Fagnes) et Jurassique est intermédiaire entre ces deux catégories.

Le **tableau 4** mentionne les 3 cultures principales les mieux représentées au sein de chaque région agricole. Pour chacune d'entre elles, l'importance surfacique est signalée, en % de la superficie concernée, ainsi que les trois premiers précédents culturaux avec mention de l'importance de chacun d'entre eux.

L'analyse de ce tableau nous amène à constater que, pour les trois régions les plus importantes (régions limoneuse, sablo-limoneuse et Condroz), le froment

Tableau 3. Nombre de cultures différentes observées (en % de la superficie concernée), de 1997 à 2003, par région agricole et pour l'ensemble de la Région wallonne — *Number of different crops observed (% of concerned area), from 1997 to 2003, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Nombre de cultures observées (% de la superficie concernée) Période 1997–2003						
		1	2	3	4	5	6	7
Ardenne	1 670	23	19	22	19	13	3	1
Campine hennuyère	185	6	6	24	33	23	5	1
Condroz	55 222	1	5	27	44	21	3	0
Famenne	10 200	5	13	29	32	17	4	0
Région herbagère	3 567	31	18	29	16	6	1	0
Région herbagère (Fagnes)	2 501	11	15	25	31	14	3	0
Région jurassique	3 884	11	16	27	26	16	4	0
Région limoneuse	142 466	1	4	28	45	20	3	0
Région sablo-limoneuse	23 161	2	8	34	38	15	3	0
Région wallonne	242 879	2	6	28	42	19	3	0

Tableau 4. Précédents culturaux les plus fréquemment observés, de 1997 à 2003 par région agricole — *The most frequently observed preceding crops, from 1997 to 2003 per agricultural region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Précédents culturaux les plus fréquents Période 1997–2003									
		1 ^{re} culture (% surface)		précédents (% surface)		2 ^e culture (% surface)		précédents (% surface)		3 ^e culture (% surface)	
Ardenne	1670	ME (53 %)		ME 70 % E 11 % FH 6 %	E (11 %)		ME 74 % E 6 % Pdt 3 %	OP (10 %)		OP 37 % A 14 % ME 12 %	
Campine hennuyère	185	ME (30 %)		ME 47 % FH 13 % OH 11 %	FH (24 %)		BS 32 % ME 30 % Pdt 21 %	BS (13 %)		FH 36 % OH 18 % ME 13 %	
Condroz	55222	FH (38 %)		BS 31 % ME 21 % FH 9 %	OH (15 %)		FH 94 % E 2 % OH 1 %	BS (13 %)		OH 47 % FH 40 % OP 3 %	
Famenne	10200	ME (30 %)		ME 40 % FH 23 % OH 17 %	FH (26 %)		ME 45 % CN 17 % BS 12 %	OH (12 %)		FH 76 % E 15 % T 3 %	
Région herbagère	3567	ME (52 %)		ME 80 % FH 10 % OH 3 %	FH (22 %)		ME 45 % BS 30 % FH 13 %	OH (7 %)		FH 76 % OH 38 % ME 5 %	
Région herbagère (Fagnes)	2501	ME (39 %)		ME 54 % FH 17 % E 12 %	FH (23 %)		ME 45 % CN 13 % BS 12 %	OH (9 %)		FH 70 % E 21 % OH 2 %	
Région Jurassique	3884	ME (41 %)		ME 60 % FH 14 % E 7 %	FH (17 %)		ME 45 % CN 14 % A 7 %	OH (8 %)		FH 70 % ME 23 % OP 15 %	
Région limoneuse	142466	FH (38 %)		BS 43 % Pdt 14 % ME 13 %	BS (21 %)		FH 53 % OH 22 % ME 6 %	ME (9 %)		FH 43 % ME 22 % BS 14 %	
Région sablo-limoneuse	23161	FH (37 %)		BS 42 % Pdt 16 % ME 15 %	BS (21 %)		FH 62 % OH 15 % ME 5 %	ME (13 %)		FH 34 % ME 33 % BS 10 %	

A : avoine — *oats*; BS : betterave sucrière — *sugar beet*; CN : colza et navette d'hiver — *winter rape*; E : épeautre — *spelt*; FH : froment d'hiver — *winter wheat*; ME : maïs ensilage — *silage maize*; OH : orge d'hiver — *winter barley*; OP : orge de printemps — *spring barley*; Pdt : pomme de terre — *potato*; T : triticale — *triticale*.

d'hiver est la culture la plus représentée et que son précédent cultural principal est la betterave sucrière. Le Condroz connaît respectivement, pour deuxième et troisième cultures principales, l'orge d'hiver et la betterave sucrière tandis qu'en régions limoneuse et sablo-limoneuse, il s'agit respectivement de la betterave sucrière et du maïs ensilage. D'une manière générale, l'importance relative des cultures principales et l'ordre d'apparition de celles-ci (mises en évidence grâce aux précédents) dans ces deux dernières régions sont assez semblables. À l'exclusion des 3 régions susnommées, les autres régions, plus herbagères, réservent une représentation surfacique plus importante à un nombre réduit de cultures principales (**Tableau 3**), et plus spécialement à la monoculture de maïs de type ensilage (**Tableau 4**). En effet, le maïs destiné

à l'ensilage y arrive toujours en première position et est systématiquement son premier précédent cultural. Pour ces régions, les spécificités régionales en terme de successions culturales sont davantage traduites par la nature des deuxième et troisième cultures et de leurs précédents culturaux principaux.

La durée de la période interculturelle. Il s'agit ici d'analyser le comportement spatial du second paramètre envisagé qui serait voué à une caractérisation agro-environnementale des successions culturales.

Le **tableau 5** présente les inter cultures, ou périodes séparant la récolte d'une culture et le semis de la culture suivante (Hupin, Dewez, 2004), moyennes calculées pour les régions agricoles sur base des dates de semis et de récolte moyennes des différentes cultu-

Tableau 5. Durée de la période interculturelle des successions observées de 1997 à 2003, par région agricole et pour l'ensemble de la Région wallonne — *Intercrop period duration for crop sequences observed from 1997 to 2003, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Durée de la période interculturelle toutes cultures confondus (jours)
Ardenne	1 670	158
Campine hennuyère	185	141
Condroz	55 222	110
Famenne	10 200	118
Région herbagère	3 567	143
Région herbagère (Fagnes)	2 501	128
Région jurassique	3 884	140
Région limoneuse	142 466	128
Région sablo-limoneuse	23 161	130
Région wallonne	242 879	124

res, et, pondérées par la surface respective de chaque culture. En Wallonie, la durée moyenne des périodes interculturelles varie de 110 jours à 158 jours selon les régions agricoles concernées. D'une manière générale, les régions d'altitude, dont les pratiques agricoles sont orientées vers l'élevage (Ardenne, région herbagère) se distinguent des régions de plaine ou de grandes cultures (Condroz, Famenne, région limoneuse, région sablo-limoneuse) par une période interculturelle plus importante. Les paramètres explicatifs de telles différences tiennent, bien sûr :

- aux conditions climatiques plus rigoureuses des régions d'altitude imposant des dates de semis tardives des cultures printanières et
- à la catégorie de cultures concernées : la succession de cultures printanières tend à accroître l'interculture tandis que l'alternance entre cultures hivernales et printanières délivre des valeurs plus faibles de la durée de cette période. Ainsi, les régions herbagères, à pratiques culturales portées vers les cultures fourragères telles le maïs voué à l'ensilage (culture de printemps par excellence), connaissent des intercultures moyennes plus élevées que les autres régions (**Tableau 5**).

Pour la Wallonie considérée dans son intégralité, on compte 124 jours d'interculture en moyenne, soit environ 4 mois pour l'ensemble des parcelles agricoles cultivées. Ces valeurs ne tiennent pas compte de l'installation éventuelle de cultures intercalaires mais restent malgré tout assez représentatives de la réalité puisque, sur l'ensemble du territoire wallon (environ 243 000 ha de parcelles cultivées), seulement 20 000 ha seraient concernés par une couverture hivernale maintenue au moins jusqu'au 1^{er} janvier, et ce, essentiellement

grâce à l'octroi de subventions agri-environnementales encourageant la mise en place de cultures intercalaires (Bollen, Mulders, 2004).

La qualité du précédent cultural. Sur base des critères mentionnés dans la méthodologie et au sein du **tableau 1**, Leteinturier *et al.* (2006) ont, pour les conditions pédo-climatiques wallonnes, attribué à chaque couple de cultures, une valeur globale de la qualité agronomique du précédent par rapport à la culture suivante. À partir de ces données, il a été possible de calculer, par région agricole et pour la région wallonne, l'effet du précédent cultural moyen relatif aux successions culturales observées de 1997 à 2003 (**Tableau 6**). Les résultats présentés au sein de ce tableau ont été obtenus en faisant d'une part la moyenne des valeurs individuelles obtenues année après année pour chaque polygone d'intersection, puis, en réalisant d'autre part une agrégation pondérée par rapport à la surface, dans le but d'attribuer une valeur finale représentative aux régions agricoles ou à la région wallonne toute entière. Les résultats obtenus ne varient pas considérablement d'une région à l'autre puisque l'amplitude notée s'étend seulement de 3,14 à 4,13. Les meilleures valeurs correspondent à la région limoneuse, au Condroz et à la région sablo-limoneuse, tandis que les régions herbagères connaissent les valeurs les plus basses, phénomène s'expliquant essentiellement par le fait constaté précédemment (**Tableau 4**), à savoir l'importance de la monoculture de maïs dans ces régions.

Le temps de retour des cultures. Un autre paramètre permettant de caractériser la qualité agronomique des successions culturales est le temps de retour des cultures principales. Ce temps de retour est particulièrement

Tableau 6. Moyenne de l'effet du précédent cultural des successions observées de 1997 à 2003, par région agricole et pour l'ensemble de la Région wallonne — *Mean values of previous crop effect on the next one for crop sequences observed from 1997 to 2003, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Effet du précédent précédent cultural moyen (1–6)
Ardenne	1 670	3,14
Campine hennuyère	185	3,78
Condroz	55 222	4,12
Famenne	10 200	3,81
Région herbagère	3 567	3,62
Région herbagère (Fagnes)	2 501	3,14
Région jurassique	3 884	3,44
Région limoneuse	142 466	4,13
Région sablo-limoneuse	23 161	4,02
Région wallonne	242 879	4,07

intéressant à mesurer s'il est comparé à un temps de retour minimum recommandé propre à chaque culture.

Pour le territoire intégral de la Wallonie, une représentation graphique permet de comparer, pour la période 1997–2003, le temps de retour moyen observé des cultures principales les mieux représentées à leur temps de retour minimum recommandé déterminé par Bockstaller et Girardin (2003) et par Leteinturier *et al.* (2006) (**Figure 2**). Il apparaît que le temps de retour minimum recommandé des cultures est toujours respecté en région wallonne. D'ailleurs, malgré l'importance de la monoculture de maïs de type ensilage constatée précédemment, le temps de retour moyen observé pour cette culture est de 3 ans tandis que le temps de retour minimum recommandé est de 2 ans.

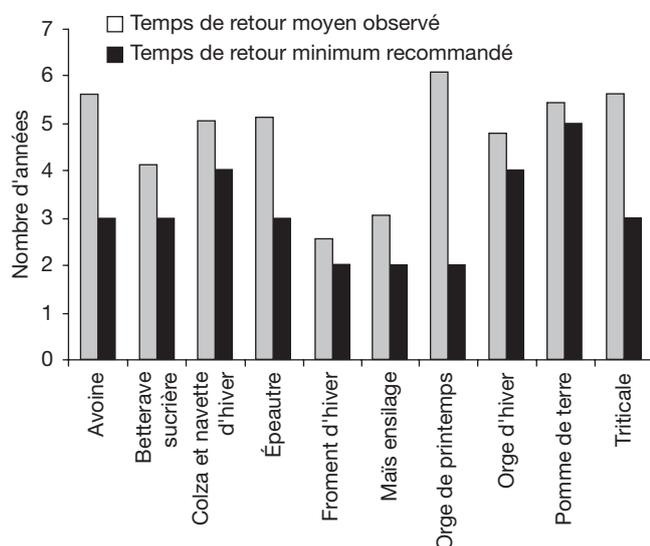


Figure 2. Temps de retour moyen observé et temps de retour minimum recommandé des cultures, de 1997 à 2003, pour l'ensemble de la Wallonie — *Mean return time and recommended minimal return time for crops, from 1997 to 2003, for the whole Walloon region.*

Aussi, il paraît opportun de vérifier si les résultats moyens obtenus par la présente analyse ne masquent pas un nombre relativement important de cas où les pratiques agricoles sont peu recommandées en terme de respect du temps minimum de retour des cultures. C'est pourquoi, pour les 5 cultures les plus importantes en terme de représentation surfacique au niveau de la région wallonne (le froment d'hiver, la betterave sucrière, le maïs ensilage, l'orge d'hiver et la pomme de terre), nous nous sommes intéressés à évaluer la part de la surface emblavée pour laquelle le temps de retour minimum recommandé n'est pas respecté ainsi que le degré de « non-conformité » à ce temps minimum de retour. Cette non-conformité est exprimée en nombre d'années manquantes par rapport au temps de retour minimum recommandé de la culture concernée. Les résultats sont présentés au **tableau 7**. Il ressort de cette analyse des proportions surfaciques relativement importantes de réapparition trop précoce de certaines cultures. Tel est le cas de plus de 40 % de la surface emblavée en orge d'hiver qui présente presque exclusivement une année manquante par rapport au temps de retour minimum recommandé qui est fixé à 4 ans pour cette culture. La monoculture du maïs ensilage, caractérisée par un degré de non-conformité de 1 (une année est manquante dans la période de retour de cette culture par rapport au temps de retour recommandé fixé à 2 ans), concerne environ 30 % de la surface emblavée par cette culture fourragère. De même, la culture de pomme de terre, pour laquelle les exigences agronomiques imposent une période minimum de retour relativement longue, fixée à 5 années, connaît en Wallonie un temps de retour de 4, 3 et 2 ans respectivement pour 21,6 %, 8,4 % et 3,6 % de sa représentation surfacique. La betterave sucrière et le froment d'hiver sont caractérisés par des proportions surfaciques moins importantes pour lesquelles le temps de retour minimum recommandé n'est pas respecté avec des valeurs respectives de 12,1 % et 8,1 %.

Tableau 7. Degré de « non-conformité » au temps de retour minimum recommandé des 5 cultures principales observées de 1997 à 2003 en Région wallonne — *Intensity of non-compliance to the recommended minimal return time for the 5 more observed crops from 1997 to 2003 in Walloon region.*

Cultures	Superficie totale emblavée en 2003 (ha)	Temps de retour minimum recommandé (années)	Degré de non-conformité ou nombre d'années manquantes par rapport au temps de retour minimum recommandé (% de la superficie totale emblavée)			
			1	2	3	4
Froment d'hiver	88533	2	8,1	-	-	-
Betterave sucrière	39677	3	11,3	0,8	-	-
Maïs ensilage	33051	2	29,7	-	-	-
Orge d'hiver	14775	4	38,5	1,4	2,3	-
Pomme de terre	14060	5	21,6	8,4	3,6	0,7

3.2. Analyse temporelle

Pour rappel, l'analyse temporelle se base sur les deux périodes successives d'une durée de 4 ans, à savoir 1997–2000 et 2000–2003.

Le nombre de cultures. Le **tableau 8** mentionne, pour les deux périodes envisagées, la proportion surfacique allouée au nombre de cultures principales différentes observées sur les parcelles durant les 4 années. Que ce soit au niveau de la Région wallonne toute entière ou bien au niveau des régions agricoles considérées individuellement, aucune évolution significative n'est observable au niveau des proportions calculées. Il peut donc être considéré que la proportion surfacique allouée au nombre de cultures est constante dans le temps tant pour les régions agricoles prises séparément que pour l'ensemble de la Wallonie.

La durée de la période interculturelle. Une assez bonne stabilité dans le temps transparait des résultats présentés au **tableau 9**, à savoir des durées des intercultures moyennes par région agricole et pour la Wallonie, pour les périodes 1997–2000 et 2000–2003. En effet, rien de significatif n'a pu être mis en évidence par une analyse de la variance même si quelques variations apparaissent pour certaines régions. De manière générale, pour l'ensemble de la région wallonne, la durée de la période interculturelle a augmenté en moyenne de 4 jours entre ces deux périodes, en passant de 122 à 126 jours.

La qualité du précédent cultural. Aucune évolution significative de l'effet moyen du précédent cultural sur la culture suivante ne ressort de l'analyse de la variance basée sur les résultats de calcul obtenus au niveau des régions agricoles pour les deux périodes : 1997–2000 et 2000–2003.

Tableau 8. Nombre de cultures différentes observées sur un même polygone d'intersection (en % de la superficie concernée), au cours des deux périodes de 4 ans, par région agricole et pour l'ensemble de la région wallonne — *Number of different crops observed (% of concerned area), for both four years periods, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Nombre de cultures observées (% de la superficie concernée)							
		Période 1997–2000				Période 2000–2003			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Ardenne	1 670	30	26	28	15	31	28	26	15
Campine hennuyère	185	8	12	54	25	8	16	46	30
Condroz	55 222	2	14	66	18	2	13	61	24
Famenne	10 200	7	23	52	18	8	24	46	22
Région herbagère	3 567	37	22	36	5	36	24	32	8
Région herbagère (Fagnes)	2 501	14	29	42	15	14	26	40	20
Région jurassique	3 884	16	26	40	18	17	28	40	16
Région limoneuse	142 466	1	14	64	21	1	12	62	24
Région sablo-limoneuse	23 161	3	23	57	17	3	20	59	18
Région wallonne	242 879	3	16	62	19	3	15	60	23

Tableau 9. Durée de la période interculturelle des successions observées au cours des deux périodes 1997–2000 et 2000–2003, par région agricole et pour l'ensemble de la région wallonne — *Intercrop period duration for crop sequences observed during both periods 1997–2000 and 2000–2003, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Durée de la période interculturelle (jours)	
		Période 1997–2000	Période 2000–2003
		Ardenne	156
Campine hennuyère	139	144	
Condroz	108	112	
Famenne	113	123	
Région herbagère	143	143	
Région herbagère (Fagnes)	122	134	
Région jurassique	140	139	
Région limoneuse	127	129	
Région sablo-limoneuse	129	131	
Région wallonne	242 879	122	126

Aussi, il semble intéressant, non plus de comparer des valeurs moyennes basées chacune sur 3 successions de cultures et nécessairement corrélées entre elles, mais davantage les valeurs caractérisant l'effet du précédent cultural obtenues aux extrémités de la période 1997–2003 (**Tableau 10**). En moyenne, les valeurs obtenues pour la succession culturale 2002–2003 semblent légèrement plus élevées que celles constatées pour 1997–1998. Néanmoins, selon les régions, l'évolution constatée peut suivre une tendance inverse ou être particulièrement minime, voire nulle.

4. CONCLUSION

L'analyse spatiale des différents paramètres étudiés laisse entrevoir, sur l'ensemble du territoire de la Wallonie, des différences en termes de performances agronomiques et agro-environnementales des successions culturales. En effet, parmi les régions où les indices calculés (à savoir : un nombre de cultures emblavées par parcelle relativement important, une valeur moyenne de la qualité des précédents culturaux élevée et une interculture relativement courte) présentent les meilleurs résultats, figurent la région limoneuse, la région sablo-limoneuse, le Condroz, puis la Famenne. Les autres régions agricoles, à caractère plus herbager, présentent, pour ces paramètres, des valeurs moins favorables. Ces résultats s'expliquent par le fait que les pratiques agricoles, guidées par les conditions pédoclimatiques locales, varient nécessairement d'une région agricole à l'autre. De plus, il convient de préciser que les paramètres étudiés sont davantage destinés à juger de la qualité des successions culturales des zones de grande culture que des régions herbagères. Les constatations établies permettent néanmoins de dresser un état des lieux des pratiques actuellement en place en terme de successions culturales, région par région,

sans pour autant porter de jugement sur les valeurs obtenues. Elles peuvent également servir de référence pour positionner les performances, de nature agronomiques et agro-environnementales, des successions culturales mises en place par une exploitation agricole au sein d'une région donnée et, le cas échéant, permettre de suggérer, en terme de successions culturales, des pratiques plus appropriées. Par ailleurs, l'analyse temporelle a montré que les paramètres explicatifs de la qualité des successions culturales étaient stables au cours du temps au sein des régions agricoles wallonnes. Toutefois, pour une analyse à plus long terme, les résultats obtenus pour la période considérée peuvent servir de valeurs de référence pour un suivi global de l'évolution des pratiques agricoles régionales.

Remerciements

Cette étude a pu être réalisée dans le cadre des projets SAGRIWATEL (Suivi de l'état de l'AGRICulture Wallonne par TELédétection) subsidiés par la Politique Scientifique Fédérale (contrat n° SR/00/20) et par la Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne.

Bibliographie

- Albrecht H. (2003). Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agri. Ecosyst. Environ.* **98**, p. 201–211.
- Astrand P., Baruth B. (2002). *MARS-PAC. AEMs image sample – Annex 9. Annex to WP4_report*. European Commission. Ispra, Italy : Joint Research Centre, 12 p.
- Bockstaller C., Girardin P. (2003). *Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO® : (version 1.2 du logiciel et suivantes)*. Rapport non publié, 115 p.

Tableau 10. Effet du précédent cultural des successions observées au cours des deux périodes 1997–1998 et 2002–2003 — *Average of previous crop on the next one for crop sequences observed during both periods 1997–1998 and 2002–2003, per agricultural region and for the whole Walloon region.*

Région agricole	Superficie concernée (ha)	Durée de la période interculturelle (jours)	
		Période 1997–2000	Période 2000–2003
Ardenne	1 670	3,18	3,08
Campine hennuyère	185	3,54	3,75
Condroz	55 222	4,11	4,11
Famenne	10 200	3,74	3,80
Région herbagère	3 567	3,09	3,20
Région herbagère (Fagnes)	2 501	3,59	3,55
Région jurassique	3 884	3,44	3,38
Région limoneuse	142 466	4,10	4,17
Région sablo-limoneuse	23 161	3,99	4,07
Région wallonne	242 879	4,04	4,09

- Bollen G., Mulders C. (2004). *Mieux gérer les cultures intercalaires – Avant-propos*. Les livrets de l'Agriculture, **8**. Jambes, Belgique : Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Agriculture, p. 5–6.
- Boller EF., Malavolta C., Jörg E. (1997). Guidelines for integrated production of arable crops in Europe. IOBC Technical Guideline III. *Bull. OILB srop* **20** (5), p. 5–19.
- CCE (2001). *Plan d'action en faveur de la diversité biologique dans le domaine de l'agriculture*. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen. COM. 162 final, III, 60 p.
- Chevrier A., Barbier S. (2002). *Performances économiques et environnementales des techniques agricoles et conservation des sols. Création d'un référentiel et premiers résultats*. Mémoire de fin d'études. Thivernal-Grignon, France : INRA-APAD, 94 p.
- Dagnelie P. (1975). *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Volume II. Les méthodes de l'inférence statistique*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 463 p.
- DDAF Ardennes (2004). *Mesure rotationnelle. Région Champagne-Ardenne*. <http://ddaf.ardennes.agriculture.gouv.fr/agricult/aides/rotationnelle.htm>. Date de consultation : 04/10/2004.
- Dendoncker N., Van Wesemael B., Rounsevell MDA., Roelandt C., Lettens S. (2004). Belgium's CO₂ mitigation potentiel under improved cropland management. *Agric. Ecosyst. Environ.* **103**, p. 101–116.
- DRIAF Ile-de-France. (2004). *La mesure « rotationnelle » étendue à l'Ile de France en 2004*. <http://draf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/srea/rotationnelle/rotannelle.htm>. Date de consultation : 04/10/2004.
- El Titi A., Boller EF., Gendrier JP. (1993). Integrated production. Principles and technical guidelines. *IOBC/WPRS Bull.* **16**, p. 13–38.
- Gerowitt B. (2003). Development and control of weeds in arable farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **98**, p. 247–254.
- Gerowitt B., Isselstein J., Marggraf R. (2003). Rewards for ecological goods-requirements and perspectives for agricultural land use. *Agric. Ecosyst. Environ.* **98**, p. 541–547.
- Habib R. (2003). *La production intégrée, une exigence de qualité pour l'agriculture*. INRA. <http://www.inra.fr/presse/juin03/nb3.html>. Date de consultation : 15/03/2004.
- Hamza MA., Anderson WK. (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* **82**, p. 121–145.
- Hupin F., Dewez A. (2004). *Mieux gérer les cultures intercalaires*. Les livrets de l'Agriculture, **8**. Jambes, Belgique : Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Agriculture, 32 p.
- Klein Haneveld WK., Stegeman AW. (2005). Crop succession requirements in agricultural production planning. *Eur. J. Oper. Res.* **166** (2), p. 406–429.
- Leteinturier B., Herman JL., de Longueville F., Quintin L., Oger R. (2006). Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agric. Ecosyst. Environ.* **112**, p. 324–334.
- Paoletti MG. (1999). Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**, p. 1–18.
- Piorr HP. (2003). Environmental policy. Agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* **98**, p. 17–33.
- Remet L. (2004). *Fiche MEMO: La formation des États européens, 11^e–13^e siècles*. Hachette. <http://www.memo.fr/dossier.asp?ID=72>. Date de consultation : 30/09/2004.
- Stoate C., Boatman ND., Borralho RJ., Rio Carvalho C., de Snoo GR., Eden P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J. Environ. Manage.* **63**, p. 337–365.
- Stone RP., Moore N. (1996). *La maîtrise de l'érosion du sol. Fiche technique. Ministère de l'agriculture et de l'Alimentation, Gouvernement de l'Ontario (Canada)*. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/engineer/facts/95-090.htm>. Date de consultation : 09/02/2004.
- Vereijken P. (1997). A methodological way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (IEAFS) in interaction with pilot farms. *Eur. J. Agron.* **7**, p. 235–250.

(25 réf.)