

2 posters modifiés, extraits de :

"AFPP - 3ème conférence internationale sur les moyens alternatifs
de **protection des cultures**
Lille - 13, 14 et 15 mars 2006"

(mise en page 2016) Daniel Chicouène

Le raisonnement des successions culturelles :

- I. Caractérisations préalables des populations d'ennemis. 424-433
- II. Fondements d'après une typologie biologique de l'ennemi. 434-443

The reasoning for crop successions :

- I. Preliminary description of the characteristics of pest populations.*
- II. Principles based on the biological typology of the pest.*

Plan de cette page :

<u>I. Caractérisations préalables des populations d'ennemis.</u> Introduction. 1.Modalités de caractérisation des infestations. 1.1. Méthodes d'évaluation des variations des populations. 1.2. L'influence des types de modélisations des pertes de diaspores. 2. Les amplitudes de variation de populations dans la rotation. 2.1. Le niveau d'amplitude de variation des populations. 2.2. Le renouvellement des populations. 2.3. Effets non évidents de la rotation. Conclusion.	<u>II.Fondements d'après une typologie biologique de l'ennemi.</u> Introduction. 1.Principes de base du raisonnement d'une succession culturelle. 1.1. <u>Principes généraux</u> d'une succession culturelle. 1.2. L'influence des vitesses d'infestation sur les cultures multiplicatrices. 1.3. Influence de la <u>persistance des diaspores</u> sur la place des cultures nettoyantes. 1.4. Cas particuliers : 1.4.1. Des espèces pérennes 1.4.2. La succession de pratiques culturelles. 2.Conséquences pratiques. 2.1. Choix de la <u>séquence d'événements</u> dans la rotation. 2.2. La notion de <u>seuil d'intervention et d'effet secondaire</u> d'une rotation. 2.3. L'évaluation de la régulation biologique. Conclusion.
---	---

*

Le raisonnement des successions culturelles :

I. Caractérisations préalables des populations d'ennemis.

Mots-clés : rotation culturelle, potentiel biotique, diaspore, inoculum, mortalité.

Introduction.

Au cours d'une **succession culturelle**, certaines **fluctuations** dans le niveau de la population active (en végétation pour les plantes ou en activité pour les animaux) de chaque année concernent en particulier les espèces à une génération par an (cas général des mauvaises herbes annuelles et de certaines pérennes, abstraction faite des mimantes), conservées dans le sol ou éventuellement avec les semences. Pour les espèces plurivoltines et à dissémination aérienne, les populations sont plutôt tributaires des conditions climatiques de l'année et ont tendance à être indépendantes des rotations de cultures ou de pratiques culturelles.

Les auteurs de préconisations d'amélioration des pratiques manquent d'un cadre théorique de référence pour des ennemis particulièrement problématiques. Afin de **comparer les années** de la rotation dans une parcelle, des principes élémentaires et simples doivent être proposés via des exemples d'espèces. Le but est d'aborder la population active de chaque année en comparant l'état initial et **l'état final, ainsi que les fluctuations** au cours de cette rotation.

1. Modalités de caractérisation des infestations.

1.1. Méthodes d'évaluation des variations des populations.

Les variations de populations sont exprimables de plusieurs manières.

Tableau I : Types de critères utilisables pour mesurer les variations de population en fonction du type de dissémination de l'ennemi des cultures.		
	Légende : + = convient bien en général (...) = limite - = ne convient généralement pas	
	Dissémination aérienne	Dissémination souterraine
densité - effectif (dénombrement, échelles de notation,...)	+ (+) si les individus adultes sont difficiles à percevoir	(-) ou - car la notion d'individu est généralement floue
recouvrement (absolu ou relatif)	(+) combine développement des individus et densité	+
fréquence (par rapport à des unités de surface de terrain ou d'hôte)	(+) pour les stolons (-) pour la dissémination anémochore	+

Chacun de ces modes d'expression des données fournit des renseignements différents ; ils sont tributaires de 2 aspects :

- la **méthode d'étude** et la **précision** recherchée (selon que le suivi concerne les jeunes individus ou les adultes ;
- la **biologie de la dissémination** dans la parcelle.

1.2. L'influence des types de modélisations des pertes de diaspores.

Pour exprimer la **durée de vie des diaspores** et/ou la vitesse de décroissance des populations en absence de renouvellement, trois principaux modes d'expression existent :

Tableau II : Comparaison de trois grands types de modèles de pertes de diaspores.			
type de modèle :	durée de vie maximale	% de perte annuelle constant	perte irrégulière
-causes implicites	viabilité intrinsèque aux diaspores	- viabilité intrinsèque aux diaspores - % de sollicitation annuel constant	épuisement du stock par sollicitation
-solutions implicites	possibilité d'empêcher l'expression du stock dans une culture de la rotation	attendre l'épuisement du stock car les interventions sont inutiles	1 culture piège dans la rotation
-démarche expérimentale	suivi de la forme de la courbe de survie par taxon	comparer les stocks restant pendant plusieurs années	évaluer le stock restant (suivi in situ)
-conditions de validité	vie courte ; ex. 1 saison	vie longue et sollicitation faible	sollicitation élevée possible : causes de disparition connues
ex. de mauvaises herbes	tubercules de <i>Solanum tuberosum</i>	graines de <i>Juncus bufonius</i>	graines d' <i>Avena fatua</i>

Une **culture "piège"** est une culture favorable à la germination ou à la levée et où la destruction des jeunes individus est aisée ; c'est plus prudent que de retenir une culture défavorisant les pertes, risquant ainsi de reporter les levées à la culture où elles sont le plus indésirables. (Ex. mauvaises herbes à diaspores à vie courte, détruites mécaniquement dans les cultures sarclées précédant une céréale).

2. Les amplitudes de variation de populations dans la rotation.

2.1. Le niveau d'amplitude de variation des populations.

Le **bilan** de la rotation est **équilibré** si l'état initial et l'état final sont considérés identiques. Le déséquilibre du bilan est possible dans les 2 sens :

- la **progression** correspond à des espèces dont la fréquence régionale augmente tous les ans pendant de nombreuses années, en particulier avec les adventices récentes ; les populations ont alors tendance à augmenter dans toutes les parcelles où l'espèce est introduite ; une lutte curative puissante ou une régulation biologique devrait à terme compenser cette extension ;

- la **régression** est liée à une lutte préventive (par rapport aux cultures suivantes) plus efficace en général ; la rotation peut même être calculée de façon à se débarrasser d'une espèce dans la parcelle en empêchant toute reproduction pendant un délai équivalent à la durée de vie maximale des diaspores dans le sol.

Ainsi, **2 types d'objectifs** peuvent être fixés à une succession culturale :

- soit **maintenir l'ennemi** à un niveau supportable parmi les fluctuations possibles,
- soit **éliminer l'ennemi** en espérant que l'effet soit durable ; ceci suppose de pouvoir contrôler sa réintroduction.

2.2. Le renouvellement des populations.

Pour assurer le renouvellement d'une population à l'échelle d'une rotation, si **la reproduction n'a pas lieu tous les ans**, la reproduction nécessaire pour équilibrer le bilan en fonction du taux de perte et du nombre d'années de perte (ou de non renouvellement) est à mettre en balance avec le potentiel biotique.

Deux façons extrêmes d'envisager un bilan équilibré sont possibles :

- la proportion **d'individus du stock** initial devant se reproduire (que les pertes soient étalées ou non sur plusieurs années) en admettant que le potentiel biotique soit atteint ;
- la **production de diaspores** nécessaire par individu germant pour équilibrer le bilan de la rotation après n années de pertes sans reproduction (en supposant uniquement une disparition par germination ou une mortalité annuelle équivalente au taux de germination de l'année où la reproduction a lieu).

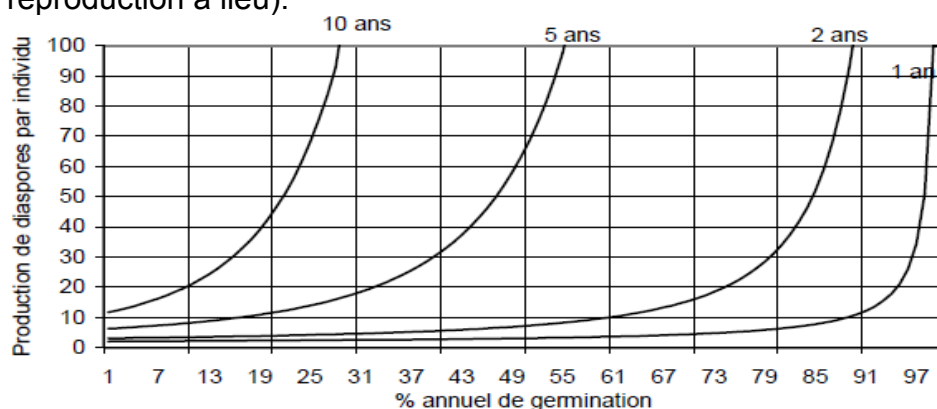


Fig 1 : Production de diaspores par individu pour équilibrer le bilan de la rotation après n années de germination sans reproduction.

Pour conserver un bilan équilibré, au moins deux façons extrêmes d'intervenir apparaissent :

- soit limiter la production par individu,
- soit limiter le nombre d'individus qui se reproduisent.

2.3. Effets non évidents de la rotation.

- Si les **pertes de diaspores n'ont lieu que l'année de multiplication**, la rotation n'a alors pour effet que de ralentir la vitesse de progression de la population (Ex. *Amaranthus sp.* ne croît qu'en cultures de printemps en climat tempéré : l'intercalation de cultures d'hiver ne changerait pas la vitesse de progression d'une infestation calculée sur le nombre de cultures de printemps).

- Si les **variations de stock sont tellement faibles** qu'elles ne sont pas détectables au cours de la rotation, l'effet ne peut être apprécié qu'après plusieurs cycles de rotations (ex. *Juncus bufonius*).

Conclusion.

Les ennemis concernés par la succession culturale sont principalement ceux subissant des **alternances d'augmentation et de réduction** des populations au cours de celle-ci.

- Pour évaluer les **augmentations** de populations, les approches sont fonction de la **biologie de la dissémination**, particulièrement en période d'activité.

- Pour caractériser les **régressions**, la **biologie des diaspores** peut être envisagée par plusieurs modes d'expression des données, chacun ayant ses intérêts et ses limites.

Les ennemis les plus concernés par les successions culturales ont des **pertes de diaspores irrégulières** selon les années ou les cultures.

La typologie des ennemis serait à approfondir par rapport aux aspects de **survie en conditions normales de rotations** et non en conditions standardisées et uniformes tous les ans.

Pour une base de données d'aide à la décision, la démographie apparaît souvent trop complexe à étudier. Aussi, faire **fi des mécanismes dans le sol** est une tendance envisageable si leur étude est trop difficile. La connaissance indirecte de la survie par des suivis de ce qui s'exprime en l'absence d'apports est à privilégier. L'échantillonnage est à adapter à la diversité biologique des ennemis concernés par la rotation des cultures.

*

Le raisonnement des successions culturales : II. Fondements d'après une typologie biologique de l'ennemi.

Mots-clés : rotation culturale, protection des cultures, diaspore, inoculum, mauvaise herbe

Introduction.

Pour une **rotation traditionnelle empirique**, le postulat de travail (schématisé en fig. 1 pour une rotation biennale) suppose que les cultures à plus **haute valeur** ajoutée multiplient des ennemis qui sont **réduits par l'intercalation de cultures secondaires** destinées à réduire les populations.

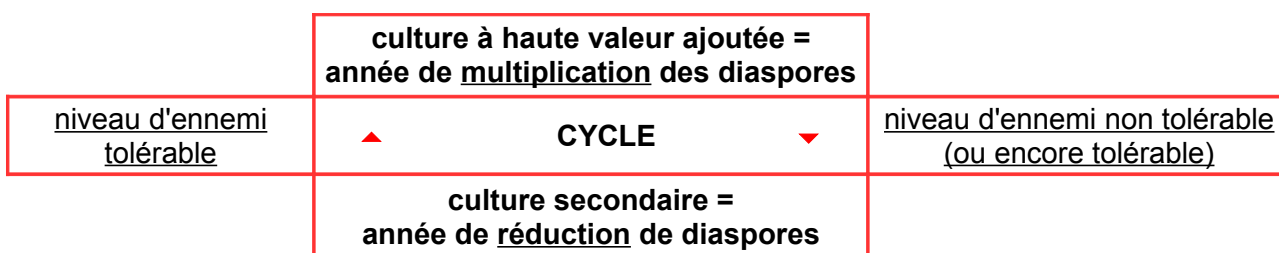


Fig. 1 : Postulat d'une rotation traditionnelle biennale empirique.

L'amélioration d'une succession culturale peut être recherchée vis-à-vis d'une espèce particulièrement gênante dans une parcelle. L'objectif même de se débarrasser d'une espèce donnée dans une parcelle en groupant les années de destruction est proposé par Rabaté (1927). Le but est ici de dégager des **principes généraux de raisonnement** fondés sur la biologie des espèces incriminées.

1. Principes de base du raisonnement d'une succession culturale.

1.1. Principes généraux d'une succession culturale.

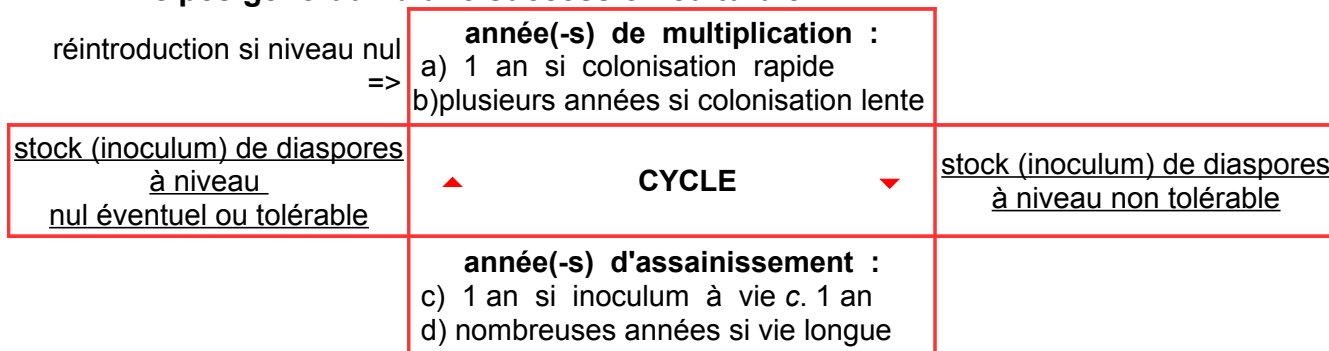


Fig. 2 : Exemples de principes d'organisation d'une succession culturale pour un ennemi annuel.

La succession culturale peut être conçue comme la succession d'un certain nombre d'années de **cultures multiplicatrices alternant avec des cultures nettoyantes**. Ce schéma concerne surtout les espèces annuelles dont une fraction des diaspores reprend une activité chaque année.

1.2. L'influence des vitesses d'infestation sur les cultures multiplicatrices.

Les principes de raisonnement de la rotation diffèrent selon que l'ennemi est à un cycle annuel de reproduction ou non (tableau I).

type de durée de vie d'un individu :	annuel à 1 cycle annuel de reproduction	pérenne en activité toute l'année et organes vivant c. 1 saison	plurivoltin (plusieurs cycles dans l'année ou la saison)
effet de la rotation ; culture multiplicatrice	constitution d'un stock de diaspores	propagation sans stock de diaspores	risque de pullulation l'année de l'introduction
effet à un an d'une introduction d'inoculum dans la parcelle	faible à négligeable	moyen	élevé (rotation inutile)
possibilité de plusieurs cultures multiplicatrices consécutives	variable ; dépend du potentiel biotique ou de la reproduction	risque variable	variable (dépend de la persistance des diaspores)
exemple d'ennemis	<i>Raphanus raphanistrum</i>	<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Puccinia graminis</i>

La **vitesse de colonisation** de la parcelle est l'un des aspects déterminants des cultures multiplicatrices.

- Si la vitesse de colonisation de la parcelle est **lente** (fig. 2 : cas "a"), avec un seuil d'intervention qui n'est atteint qu'au bout de plusieurs années, plusieurs années consécutives de reproduction sont donc tolérables (ex. *Veronica hederifolia*).

- Pour une vitesse de colonisation **rapide** (fig. 2 : cas "b"), une année de multiplication est le maximum supportable en partant d'un stock presque nul (non forcément décelable avec les méthodes usuelles d'évaluation de populations) (ex. *Cirsium vulgare* en T.C.S.). Pour se permettre des années successives de multiplication, il faut partir d'un niveau nul c'est-à-dire avoir détruit tout le stock auparavant et réduire les probabilités d'introduction dans la parcelle.

1.3. Influence de la persistance des diaspores sur la place des cultures nettoyantes.

Dans une rotation, il est possible soit de rechercher un équilibre à un niveau supportable, soit de trouver un délai suffisant pour faire disparaître le stock.

Tableau II : Influence de la persistance des diaspores sur la conception du nettoyage d'une succession culturale.

paramètres de conception d'une succession culturale	diaspores persistant longtemps (très nombreuses années)	diaspores peu persistantes (de 1 saison à 1 an)
-variation des populations à la fin de la rotation	variable, généralement effet c. négligeable	variation élevée possible
-effet d'une multiplication massive	risque à terme mais généralement il y a effet tampon si labour et si inoculum produit en surface du sol	la rotation peut annuler l'effet d'une multiplication aussi massive soit elle
-vitesse de destruction du stock	incompatible avec la durée d'une rotation	possible (en 1 intervention) par : - perte de viabilité après enfouissement si levée uniquement superficielle - germination du stock mais destruction avant reproduction
-rôle des cultures non multiplicatrices	-empêcher l'augmentation d'un stock -éventuellement culture "piège" réduisant le stock	détruire un stock (possible avec une rotation biennale)

1.3.1. Diaspores à vie plutôt courte.

- Les diaspores à vie très courte (quelques jours par exemple) ne justifient pas une succession culturale.
- La recherche de **l'éradication** des diaspores supposées **vivre de l'ordre d'un an** nécessite d'être à même d'empêcher ou de contrôler la réintroduction. L'éradication peut supposer de regrouper les années de destruction ou de non reproduction. En supposant qu'il faille le même temps pour éliminer un stock faible et un stock élevé, a priori, pour rentabiliser au mieux les années de diminution, il faut partir d'un stock élevé correspondant au maximum supportable (ex. *Bromus sp.*).

1.3.2. Diaspores à vie longue.

Par rapport au rythme annuel des pertes à l'intérieur de la rotation, deux possibilités extrêmes se présentent :

- pour des espèces qui ne débutent leur activité que dans une culture de la rotation, des **pertes uniquement l'année de la reproduction** ; ici, la rotation de cultures n'a pas d'effet direct mais elle n'est pas forcément inutile si un cycle annuel d'alternance entre une culture et une **interculture piège** est en cause (ex. déchaumage favorisant la levée de *Chenopodium album* dans une rotation entre maïs et blé) ;

- pour des espèces qui amorcent leur **activité quelle que soit la culture**, aucune perte de juvéniles n'a lieu l'année de la reproduction en l'absence de lutte curative valable ; les pertes se produisent les autres années avec des **cultures "pièges"**.

1.4. Cas particuliers

La situation la plus **facile à gérer** est : **une progression lente ET une mort rapide** (type *Bromus secalinus* en situation labourée) ; la situation la plus contraignante est l'inverse.

Des cas particuliers plus ou moins complexes sont à signaler :

1.4.1. Des espèces pérennes

Dans le cas d'une espèce **pérenne à propagation végétative** et organes se renouvelant environ chaque année et **sans repos** (type *Agrostis stolonifera*), la figure 2 s'applique en considérant que les années de réduction correspondent à des cultures où la multiplication est faible, entraînant une réduction du niveau de diaspores. Les mécanismes de réduction en cause peuvent être variés : effet direct des pratiques culturales ou de la gestion habituelle de l'interculture, une régulation biologique favorisée,... Ici, la notion de durée de vie des diaspores est inadaptée. Il est à souligner que certaines de ces espèces sont détruites par une seule application en lutte chimique, et ainsi éliminées de la parcelle jusqu'à une nouvelle introduction.

1.4.2. La succession de pratiques culturales.

Certaines **pratiques culturales** agissent sur l'épuisement du stock, en particulier le **labour** pour les diaspores nécessitant d'être proches de la surface pour lever et à vie courte ; le délai entre les labours doit être suffisant pour ne pas remonter des diaspores encore vivantes c'est-à-dire que le labour est alors à raisonner dans le cadre de la rotation (aspect détaillé plus loin pour *Alopecurus myosuroides*). Il faut connaître la durée nécessaire à l'épuisement du stock.

2. Conséquences pratiques.

2.1. Choix de la séquence d'événements dans la rotation.

En l'absence d'interaction entre événements culturaux, l'état final après une rotation dépend des événements intervenant pendant la rotation mais ne dépend pas de l'ordre de ces événements.

Une nuance est à apporter dans 2 cas :

- quand des **interactions** sont possibles, par exemple entre le déchaumage (probablement pour certaines modalités seulement parmi celles citées par Chicouène (1999a), en particulier l'enfouissement) et le labour (cité par Chauvel & al., 1998, dans le cas d'*Alopecurus myosuroides*) ;

- quand les diaspores ont une durée suffisamment courte pour être détruites dans une **rotation assez longue** comprenant une succession d'années de destruction ; toutefois, cette hypothèse n'est pas valable avec le modèle de taux annuel de perte constant.

Les **états intermédiaires dans la rotation** dépendent de l'ordre des événements (tableau II = le labour pour réduire les diaspores à vie courte levant uniquement lorsqu'elles sont proches de la surface). L'itinéraire qui comporte les populations les plus basses est celui où l'on intervient dès la première année.

Si l'intervention a lieu comme parfois préconisé après la culture qui multiplie le plus, la destruction concerne la quantité absolue maximale puisque c'est le système qui provoque les populations les plus élevées.

En raisonnant de même en probabilité **d'apparition de mutation** pour la résistance à une matière active, il faut calculer le système pour avoir les populations les plus basses.

Tableau II : Simulation d'une rotation triennale à bilan nul avec 3 itinéraires comparant le positionnement d'un événement réduisant une population telle que <i>Alopecurus myosuroides</i> .							
n° année d'intervention	population initiale (unité arbitraire)	blé d'hiver		orge de printemps		pois	
		labour		labour		labour	
1) précoce	100	/5 = 20	x 10 = 200		x 2 = 400		/4 = 100
2)intermédiaire	100		x 10 = 1000	/5 = 200	x 2 = 400		/4 = 100
3) tardive	100		x 10 = 1000		x 2 = 2000	/5 = 400	/4 = 100

2.2. La notion de seuil d'intervention et d'effet secondaire d'une rotation.

Le souci de l'augmentation du stock de diaspores apparaît dans diverses situations marginales par rapport à la succession culturale.

2.2.1. Généralités sur les seuils d'intervention.

La notion de seuil d'intervention est à employer avec **prudence pour les diaspores à vie longue**. Pour celles-ci, Decoin (1999) préconise des rotations de produits phytosanitaires qui peuvent théoriquement retarder le développement d'une population résistante à une matière active ; mais en raisonnant à plus long terme, soit par rapport au nombre de fois où chaque molécule a été utilisée, soit par rapport à une résistance croisée, l'intérêt de cette préconisation n'est pas évident.

2.2.2. L'effet secondaire d'une rotation.

L'effet secondaire d'une rotation se rencontre quand l'ennemi remplit les 4 conditions suivantes :

- des diaspores à vie plutôt longue,
- une multiplication plutôt lente,
- un ennemi nuisible dans la culture principale et sans nuisibilité directe dans la culture secondaire,
- un ennemi susceptible de se multiplier dans les 2 cultures.

Si la population est faible dans la parcelle, l'objectif est de maintenir le **stock faible aussi longtemps** que possible. Pour cela, il convient d'empêcher l'augmentation de stock dans la culture secondaire (Ex. *Poa annua* en rotation entre maïs et blé alors que la lutte est difficile ou onéreuse dans le maïs).

2.3. L'évaluation de la régulation biologique.

Si un écart par rapport à un modèle démographique montre une surestimation des populations en végétation ou en activité, la régulation biologique peut être en cause. La difficulté de **gestion des auxiliaires** rejoint la problématique de la rotation des ennemis des cultures.

Conclusion.

Les bases de l'amélioration du **raisonnement d'une succession culturale** centrée sur une espèce d'ennemi dépendent de **plusieurs paramètres** dont les états ou les classes représentent des contraintes variables selon les espèces et la rotation initiale. Le bilan des paramètres par espèce est fonction en particulier de 2 aspects :

- la **biologie de l'espèce** en période d'activité pour le nombre de cultures multiplicatrices,
- la **biologie des diaspores** pour le nombre de cultures nettoyantes.

La **situation la plus avantageuse** pour organiser une succession culturale est :

- une **multiplication lente** (permettant plusieurs années de cultures multiplicatrices)
- des **diaspores à vie courte** (détruites par une seule culture nettoyante).

Pour les successions entre **cultures d'automne et de printemps** en climat tempéré, la réalisation de **bases de données en phénologie** (calendrier d'activité des organismes, capacité de repos et de conservation) des ennemis est une perspective intéressante. Pour des ennemis à spectre d'hôtes vaste (cas des mauvaises herbes non parasites), une telle base de données permettrait d'envisager qualitativement les possibilités de "**piégeage**" des **juvéniles** et d'empêchement de la multiplication d'après les **calendriers des cultures et des intercultures** et des possibilités d'intervention.

Remerciements : pour son aide, à Laurent Beillard (exLaboratoire de Botanique, E.N.S.A. de Rennes).