

Inventaire et mécanismes des méthodes culturelles de lutte en gestion des mauvaises herbes. A review.

Daniel Chicouène, version 20 août 2018



Abstract p.2

Résumé p.3

1.Introduction p.4

2.RAISONNEMENT SUR UN SEUL CYCLE CULTURAL p.6

2.1.Les pratiques culturelles recensées.

2.1.1.Conduite de l'inventaire.

2.1.1. Classement technique de la liste de pratiques.

2.2.Les cibles biologiques.

2.2.1.Caractères généraux des cibles.

2.2.2.Relations entre cibles et nuisibilité.

2.3.Les revers de cibles biologiques.

2.3.1.Types de spectres biologiques concernés.

2.3.2.Interprétation des revers.

2.4.Cas des taxons mimants des lots de semences.

2.4.1.Problématique de la nuisibilité des mimantes.

2.4.2.Cycle des mimantes des cultures et pratiques de lutte.

3.LES SUCCESSIONS CULTURALES p.12

3.1.Généralités sur les descripteurs historiques de pratiques.

3.2.Mécanismes biologiques en jeu.

3.2.1.Principes communs d'organisation d'une succession culturelle.

3.2.1. L'organisation de l'assainissement.

3.2.2. Persistance de l'assainissement.

3.3.Cas particuliers.

3.3.1. Introduction du labour occasionnel et de la désinfection du sol.

3.3.2. Prise en compte de la lutte chimique.

3.3.3. Les climats tempérés.

4.DISCUSSION GENERALE p.18

4.1.Comparaisons par pratiques indépendantes.

4.1.1. Descripteurs historiques des pratiques culturelles.

4.1.2. Descripteurs de pratiques et descripteurs de cibles biologiques.

4.1.3. Niveaux de connaissance des effets par pratique.

4.1.4.Bases de données sur les effets de chaque pratique.

4.2.Cumuls et combinaisons de pratiques culturelles.

4.2.1.Types de relations dans les combinaisons de pratiques culturelles.

4.2.2.Choix des combinaisons de pratiques dans les essais.

4.2.3.Cas des prairies :

4.3. Stratégies et relations avec les méthodes non culturelles.

4.3.1.Les méthodes culturelles dans les stratégies générales de lutte.

4.3.2.Types d'interférences entre mécanismes de sélectivité.

4.3.3. Comparaison de descripteurs entre méthodes culturelles et d'autres.

5.Conclusion p.28

REMERCIEMENTS p.29

(BIBLIOGRAPHIE)

Fig. 1-3 p.29

Tableaux 1-8 p.30

ANNEXE I : Principales rubriques de lutttes culturelles dans 42 traités de désherbage p.38-44.

Inventory and mechanisms of cultural control practices for weed management.

Key-words (max10):

cultural cycle,
cultural practice,
mimicking weed
crop rotation,
life cycle,
biological selectivity,
biological target,
spectrum of action,
diaspore.

Mots-clés (max10):

cycle cultural,
pratique culturelle,
mauvaise herbe mimante,
rotation culturelle,
life cycle,
sélectivité biologique,
cible biologique,
spectre d'action,
diaspore.

Résumé :

Un inventaire de méthodes de lutte culturale est entrepris en comprenant chacune par sa sélectivité biologique vis à vis des mauvaises herbes.

Les méthodes culturales sont abordées de façon éparses et souvent succinctes dans la littérature depuis le XIX^{ème} siècle ; leur délimitation y fait l'objet de désaccords. Dans le cadre de la "sustainable agriculture", une mise au point sur les acquis généraux en gestion culturale de la flore arvale (pour les cultures assolées) est nécessaire. La sélectivité la plus citée par pratique est limitée à quelques exemples de taxons dans une aire géographique réduite ; elle est rarement abordée via des mécanismes généraux d'action sur les cycles biologiques. La distinction complexe et controversée faite par de nombreux auteurs entre méthodes préventives et curatives est un alourdissement sémantique souvent ambigu, non nécessaire à l'exposé du sujet.

Chaque pratique recensée est exposée avec sa cible biologique.

-A l'échelle d'un seul cycle cultural, c'est-à-dire centré uniquement sur la récolte à venir, 30 pratiques sont comparées ; chaque cible tend à posséder un descripteur biologique propre. La majorité des couples pratique-cible présente l'inconvénient de posséder un état extrême opposé à celui de la cible, c'est-à-dire favorisant un type contraire.

-Les mauvaises herbes mimantes de cultures sont spécialement atteintes par 6 pratiques.

-Les rotations culturales sont décrites comme des successions entre des cultures ou des pratiques salissantes pour certaines mauvaises herbes et des cultures ou des pratiques assainissantes ; ces dernières visent principalement des diaspores à durée de vie inférieure à la durée d'assainissement envisagée. Sous climat tempéré, les rotations en relation avec la diversité de phénologie des cultures et des mauvaises herbes peuvent être complexes.

La combinaison d'interventions culturales doit prendre en compte les mécanismes en jeu, des effets pouvant s'annuler.

1.Introduction.

"Cultural control" désigne l'ajustement ou l'organisation simple de pratiques culturelles de façon à réduire des ennemis. Des méthodes culturelles performantes sont nécessaires à la "*agroecological strategy*" in "*sustainable agriculture*" en général (Lichtfouse & al. 2009) et ceci à plusieurs titres. Dans le cadre d'une lutte intégrée ou durable contre les mauvaises herbes des cultures et plus globalement de la gestion de la flore arvale, il est important de cerner les effets possibles des nombreuses pratiques culturelles. En "conservation agriculture", Ramesh (2015) et Lee and Thierfelder (2017, en "southern Africa") mettent en avant plusieurs méthodes de lutte culturelle précieuses parmi d'autres méthodes de lutte. "In clean agriculture", Abouzienna & Haggag (2016) recensent entre autres des méthodes de lutte culturelle.

Depuis le XIX^e siècle, la littérature en malherbologie aborde régulièrement des méthodes culturelles de lutte contre les mauvaises herbes. Ainsi, parmi les 51 traités de désherbage comparés, Chicouène (2013) trouve qu'elles sont abordées dans 48 d'entre eux : elles sont constamment présentes depuis le XIX^e siècle jusqu'en 1977, bien qu'elles n'y représentent que quelques pages à chaque fois. A partir de cette date, elles deviennent absentes de certains ouvrages qui privilégient la lutte chimique ; à l'inverse, une tendance opposée rare (chez Buhler 1999, Upadyaya & Blackshaw 2007, ainsi que Jabran & Chauhan 2018) accorde la priorité aux méthodes non chimiques, particulièrement à des méthodes culturelles.

Parmi ces 49 ouvrages (en ajoutant Jabran & Chauhan 2018 à la liste des 48 de Chicouene 2013), 42 comportent des synthèses partielles essentielles sur le sujet ; leur ordre chronologique et les pratiques culturelles concernées sont inventoriées en annexe I. Y sont retenues toutes les pratiques connues pour exploiter directement ou indirectement les cycles cultureux et susceptibles a priori d'influencer des mauvaises herbes. Cette délimitation retenue ici pour les méthodes culturelles correspond à une conception large, combinant celles de différents auteurs ; c'est approximativement le rassemblement des méthodes culturelles et d'une partie des méthodes préventives de Upadhyaya & al. (2007), Pawar (2009), Walia (2010) ou Subramanian & al. (2011) ; avec les autres auteurs, les comparaisons seraient plus difficiles. La synthèse de la F.A.O. (1986) fournit entre autres 3 catégories "cultural control, cultural practices, cropping patterns" qui ne sont pas distinguées entre elles ici, faute de définitions suffisantes.

Le cas des rotations culturelles extrait des traités de l'annexe I est présenté dans le tableau I ; celui ci montre qu'elles sont diversement incluses parmi les stratégies et les méthodes de lutte. Ces pratiques sont classées dans des rubriques de stratégies pour une majorité de références mais selon 2 tendances opposées : elles vont de l'éradication, l'extermination, la destruction ou le contrôle (pour les 9 premières lignes) jusqu'à la prévention (cas des 2 dernières lignes ainsi que, par ailleurs, l'article de Anderson 2007). Quand la lutte culturelle est formalisée (soit 10 livres sur les 35 du tableau I, en lignes n° 7 à 14), leur classement est concomitant aux rubriques de stratégie 5 fois et se rapportent au "control". Ainsi, l'application de la notion de stratégie aux pratiques culturelles et en particulier aux rotations fluctue selon les auteurs ; l'interprétation des contradictions est à envisager via l'explicitation des conceptions possibles des stratégies de lutte.

Selon les traités ou les articles, les méthodes culturales sont perçues via des échelles d'espace et de temps plus ou moins vastes : elles vont du choix des lots de semences, à la conduite d'une culture (par exemple avancer ou retarder sa date d'implantation), aux rotations. Ces dernières ne sont toutefois pas intégrées aux méthodes culturales par Gwynne & Murray (1982), Pawar (2009), voire p.p. Naylor & al. (2002). Ces délimitations différentes des méthodes culturales ne sont pas forcément justifiées ou les pratiques correspondantes n'y sont donc pas toutes classées comme telles. Les pratiques qu'elles englobent sont diversement intitulées en stratégies préventives ou curatives, ou sont exposées sans attribution stratégique. Pour être appréhensible, la notion de prévention impliquerait d'indiquer à chaque fois les échelles de raisonnement (Chicouène 2000b) ; les principales stratégies appliquées à l'échelle spatiale de la parcelle sont comparées dans le tableau 2 : les auteurs en annexe pourraient se situer dans différentes cases des 2 colonnes comparées ; de même, l'expression "[...] preventive and curative measures" dans l'intitulé de l'article de Colbach & Cordeau (2018) ne renseigne pas sur son contenu. D'autre part, ces repères ne sont pas forcément propres aux méthodes culturales. Ces subtilités sont au plus intelligibles dans un contexte spatio-temporel explicité à chaque utilisation. Aussi, pour appréhender au mieux les méthodes culturales, d'autres critères complémentaires de ces notions seraient à envisager. Face à un tel enchevêtrement de raisonnements possibles, il est préférable d'essayer d'aborder la liste des pratiques culturales en s'affranchissant de cette sémantique en stratégies ambiguës.

Les approches autour des méthodes culturales s'avèrent donc éparses dans la littérature. Les possibilités qu'elles offrent bénéficieraient de disposer d'un inventaire simple et d'un bilan général des savoirs. Pour cela, face à la nécessité de classer les pratiques culturales et leur littérature (livres et articles), plusieurs descripteurs sont disponibles et pertinents ; en particulier, les types de spectres d'activité ou les types de sélectivités (cf. Chicouène 2009) représentent une orientation déterminante pour une mise au point sur des méthodes de lutte. Ce thème essentiel des cycles biologiques est logiquement abordé par rapport aux échelles de délais d'efficacité attendus en priorité pour une parcelle. Pour cela, il est pratique de distinguer 2 groupes principaux de pratiques culturales : d'une part, celles se rapportant aux successions culturales en général (traitées par Chicouène 2006 pour les problématiques de stocks de diaspores au sol et 2007a pour la phénologie) qui englobent les 3 premières lignes (surtout la case A.3) du tableau 2, d'autre part, le reste, c'est-à-dire le raisonnement sur un seul cycle cultural (cas de Chicouène 2016), correspondant à l'ensemble de la dernière ligne du tableau 2, voire à sa case B.3.

L'objectif est ici de rassembler les pratiques culturales et leurs approches rencontrées dans la littérature. La démarche comparative repose précisément sur leurs cibles biologiques de mauvaises herbes et en même temps leurs limites. Les cultures assolées sont seules abordées, quelle que soit la zone climatique. Les entrées principales sont alors, par ordre de complexité d'approche : un seul cycle cultural, puis les successions culturales ; ensuite une discussion générale est proposée.

2.RAISONNEMENT SUR UN SEUL CYCLE CULTURAL

Cette approche est centrée sur l'organisation ou le cycle d'exploitation d'une seule culture (voire d'une année en prairie sous climat saisonnier). Il consiste à exploiter des caractéristiques d'un cycle cultural en considérant seulement la récolte à venir, avec un salissement donné de la parcelle avant d'appliquer une (des) méthode(-s) culturale. Généralement, le but est surtout de réduire la nuisibilité potentiellement élevée de mauvaises herbes présentes au moment de la décision, qu'elles soient en repos ou en végétation.

Deux échelles d'appréhension sont distinguées :

- la parcelle avec son stock de mauvaises herbes dans ou sur le sol,
- la conduite de production des lots de semences, en particulier vis-à-vis des mimantes du cycle d'une culture.

2.1.Les pratiques culturales recensées.

2.1.1.Conduite de l'inventaire.

Les pratiques de l'annexe et de quelques articles sont rassemblées dans les tableaux 3 (à 6 pratiques), 4 (à 13 pratiques) et 5 (à 10 pratiques correspondant à 5 descripteurs ayant chacun 2 états extrêmes) ; ils sont issus de Chicouène (2016) sauf que les exemples de taxons, observés en climat tempéré océanique, sont enlevés et que certaines pratiques sont ajoutées (placées en n° "bis"). Quelques pratiques culturales faisant intervenir de hautes températures ne sont pas intégrées dans les tableaux : le compostage (Shaw 1892 : 5 ; etc. in annexe I), le brûlis (Muenscher 1936 : 60 ; etc. in annexe I), la solarisation (Radosevich & al. 1997 : 347-377 ; Naylor & al. 2002 : 292 ; Gupta 2007 : 81 ; Pawar 2009 : 46 ; Walia 2010 : 93 ; Chaudary & al. 2011 : 82), les types de fertilisants.

Vis à vis de la conduite de la culture, la littérature contient 2 logiques différentes :

-Celle la plus rarement rencontrée consiste à se situer à l'optimum phytotechnique de la culture décidée, par exemple "planting at optimum date" (Smith & al. 1995 : 411 ; Lee and Thierfelder 2017 ; Jabran and Chauhan 2018). Le présupposé alors probable est que la culture se trouve dans les meilleures conditions de compromis pour faire face à un maximum de mauvaises herbes possibles.

-La logique développée ici (par exemple dans les tableaux 3 à 5), la plus fréquente, est de s'écarter de l'optimum phytotechnique de la culture décidée, voire de choisir une culture ou sa conduite afin de mieux s'épargner certaines mauvaises herbes redoutables présentes compte tenu de la biologie connue de chacune. Ainsi, "cultural controls [...] usually only require modifications to normal production practices " (Pawar 2009 : 161). Par exemple, un semis est avancé vs. retardé (Naylor & al. 2002 : 355-356). Le but est ici de réduire fortement une nuisibilité par un

choix ou un ajustement de pratiques culturales ; le risque est parfois le rendement ou les coûts d'exploitation un peu altérés suite à des ennuis techniques (par exemple, une verse liée à un semis dense, un salissement et une humidité de la récolte lors d'une moisson précoce), des opérations supplémentaires (ex. les tris) ou un débit de chantier réduit (par exemple à cause d'une coupe rase). Certains choix culturaux assurent parfois un recours à d'autres méthodes, non directement culturales (par exemple, une intervention mécanique sélective est permise soit grâce à un écartement élevé des rangs de culture étudié par Drew & al. (2009) pour des blés par ailleurs considérés comme salissants, soit une culture où un passage de rouleau est possible sitôt sa levée pour casser des tiges fragiles telles que celles de *Datura* ou *Xanthium*).

2.1.1. Classement technique de la liste de pratiques.

Les descripteurs servant à caractériser les relations avec des cycles de mauvaises herbes concernent différents aspects ou étapes du cycle cultural figurant dans les tableaux 3 à 5 :

- choix des cultures dans la parcelle : le type "traditionnel" de culture vis à vis de la lutte mécanique sélective, à savoir sarclée vs. étouffante ou compétitive, espèce(-s) et cultivars, la vitesse de développement du couvert, la hauteur de la culture adulte ;

- technique d'implantation : associations culturales, pureté des lots vis à vis de mauvaises herbes, écartement des rangs (une culture habituellement en rangs serrés pour mieux exploiter l'espace et qui est salissante ou facilement envahie est mise en place en rangs anormalement écartés pour envisager un binage), densité de semis, mulch, sous couvert ;

- technique de récolte : hauteur de coupe, menues pailles éliminées ou non ;

- phénologie par les calendriers des cultures : dates d'implantation et de récolte (précocité de maturation), durée de la culture ;

- physico-chimie du sol : amendements de la parcelle, conduite de la fertilisation de la culture, gestion de l'irrigation ou du drainage.

En climat tempéré ou saisonnier, en plus certaines données de phénologie sont liées à l'échelonnement des levées et au développement en fonction des saisons ; ainsi se trouvent impliquées quelques variables supplémentaires de dates d'implantation, de désherbage sélectif, de récolte.

2.2.Les cibles biologiques.

Les types de cibles de chaque pratique sont évalués en référence à un optimum cultural sans mauvaises herbes ; ils figurent en 2^e colonne des tableaux 3 à 5.

2.2.1.Caractères généraux des cibles.

Plusieurs critères servent à caractériser des cibles. Dans la littérature, le plus facilement rencontré est leur spectre taxonomique. Ce dernier correspond à peu de taxons de biologie très précise telle qu'une période de levée restreinte, au moins pour la production d'individus vigoureux, à l'ensemble de la flore héliophile, c'est-à-dire excepté les sciaphiles, voire les grimpantes. La sélectivité biologique proposée dans les tableaux 3 à 5 est de valeur compréhensive générale. Ses descripteurs sont quantitatifs quand un décalage à l'optimum phytotechnique est exprimable en nombres de jours ou d'unités de dimensions (surtout les hauteurs absolues ou relatives).

Le niveau d'efficacité exprimé par une proportion de répression serait possiblement proportionnel à l'intensité de la pratique exercée ou de l'écart à l'optimum phytotechnique. Les données expérimentales sur ces aspects et leurs relations restent ponctuelles (par exemple entre les densités de semis et le rendement de la culture dans une parcelle plus ou moins dense en héliophiles et en non grimpantes).

La plupart des pratiques retenues, soit 25 sur 30, possèdent une cible biologique propre. Cette dernière est dans la majorité des cas déjà évoquée dans la bibliographie. Ces cibles sont indépendantes entre elles sauf quand des mimantes sont spécialement concernées ; elles peuvent alors être redondantes et/ou complémentaires (thème détaillé plus loin). Les cibles sont décrites par la phénologie, l'écologie (surtout des levées et des plantules), la morphologie. La plupart se raisonnent d'abord à l'intérieur d'un cycle cultural ; certains intéressant le sol vont agir pendant plusieurs années de suite.

2.2.2.Relations entre cibles et nuisibilité.

Tous les types de nuisibilités tels que récapitulés par Chicouène (2010, en grandes cultures tempérées) peuvent être anticipés ; ils ne sont pas restreints au rendement, parfois seul type abordé dans des publications. Ils concernent les autres aspects que sont d'une part, les problèmes techniques (ainsi pour éviter l'envahissement végétatif tardif perturbant l'opération de récolte, une récolte hâtive est envisagée), d'autre part la toxicité, en particulier les tris de récolte vivrière. Dans cette dernière situation, en raison de seuils de nuisibilité bas, des efficacités élevées sont recherchées. Par exemple un cultivar de sarrasin à grosses semences facilite l'élimination des graines de *Datura stramonium* dans les récoltes issues de parcelles qui en comportent. Les tris méticuleux de lots destinés à la consommation ou au semis pour certains *Lolium* comme *Lolium temulentum*, mimante dans le blé, est un thème détaillé plus loin.

2.3.Les revers de cibles biologiques.

2.3.1.Types de spectres biologiques concernés.

Les mauvaises herbes sont ici envisagées entre elles en considérant leur diversité biologique. La partie non cible d'une pratique est de 2 niveaux. D'un point de vue général, "cultural controls may be effective for one pest but may be ineffective against a closely related species" (Pawar 2009 : 161). Il faut aussi distinguer les cas où les pratiques favorisent des ennemis : le phénomène est rencontré pour la majorité des pratiques envisagées par Chicouène (2016). Dans la bibliographie, ce thème est beaucoup moins abordé que les cibles car il nécessite de caractériser plusieurs taxons les uns par rapport aux autres.

Précisément, dans la dernière colonne des tableaux 3 à 5, les limites (tableau 3) et les inconvénients ou revers (tableaux 4 et 5, soit respectivement 13 et 10 cas) correspondant à chaque couple de pratique et cible sont explicités. Ainsi, le cas 5.1 de la date d'implantation choisie pour être défavorable à un type précis de calendrier de levée est en même temps la plus optimale aux taxons répondant de façon contraire à cette date. Le dilemme devient crucial dans une parcelle quand au moins une mauvaise herbe nécessite une mesure et qu'une autre justifie en même temps la mesure inverse ou risque de sélectionner ce dernier taxon.

Les caractères d'une flore non cible et opposée à la cible de la pratique considérée sont à raisonner à l'échelle d'une aire géographique plus vaste que celle dominant la seule parcelle à un moment donné : des espèces connues comme majeures dans les parcelles environnantes peuvent y être sélectionnées dès qu'elles sont présentes.

2.3.2.Interprétation des revers.

Les cibles les plus quantitatives voient leur revers décrit par le même descripteur mais en sens inverse ; une proportionnalité est envisageable entre les 2 sens de description. Au tableau 5 même, les cibles et leurs revers ont tendance à être inversés 2 à 2 par descripteur à 2 états extrêmes opposés ; cet aspect déjà relevé par Chicouène (2016) rassemble ici plus de cas.

En tableau 2.1 figure la physico-chimie du sol dont les modifications peuvent s'exercer sur plusieurs cycles consécutifs ou sur plusieurs successions culturales dans la parcelle. Les amendements calcaires en sols acides favorisent certains taxons aux dépens d'autres (ex. Brahima Koné & al. 2014 sur du riz au Bénin). L'interprétation écologique serait que les plus neutrophiles remplacent des plus acidiphiles par plusieurs hypothèses de mécanismes (soit la compétition, soit les neutrophiles colonisent après que les acidiphiles soient éliminées en raison de la toxicité du calcium pour elles, soit un

parasitisme plus élevé, soit parfois par un choix de cultures plus concurrentielles dans ces conditions).

Sur un cycle cultural, de nombreux mécanismes paraissent donc en jeu et les hypothèses d'interprétation sont proposées à des précisions variables dans la dernière colonne des 3 tableaux comparatifs. Comme pour les cibles, les pistes d'architecture des plantes et de physiologie y tiennent la même place mais via leur état opposé.

Les choix entre les différentes pratiques culturales sont fonction du salissement de la parcelle ou de la culture, par considération des divers types de paramètres présentés et de leurs intégrations dans les cycles de production. Il conviendra aussi de réfléchir aux conséquences éventuelles de ces décisions pour les années suivantes.

2.4.Cas des taxons mimants des lots de semences.

A cheval avec le thème des successions culturales, ce sont les nombreuses pratiques culturales concernées dans les tableaux 3 à 5 qui justifient de placer les mimantes dans la partie sur un seul cycle cultural.

2.4.1.Problématique de la nuisibilité des mimantes.

La préoccupation de la pureté ou du tri des semences agricoles apparaît régulièrement dans les livres de l'annexe, surtout les plus anciens (dans les 11 parus avant 1970, puis dans 20 sur les 29 publiés ultérieurement). Le principe consiste essentiellement à tenir compte de taxons nouveaux pour une parcelle ou de ceux réintroduits après leur éradication (Chicouène 2000b).

Les mauvaises herbes mimantes des cycles de semis et récoltes des cultures sont particulièrement concernées par ce thème ; ce sont des taxons "closely associated with a particular crop" (Barett 1983).

Certains taxons sont proches parents de la culture dont ils sont éventuellement des ancêtres ; ainsi Altieri & Liebman (1988 : 61 & 221) évoquent plusieurs espèces dans ce cas. Par ailleurs, le sujet est important quand les diaspores concernées sont toxiques comme celles de certaines espèces de *Lolium* dans plusieurs céréales à paille et dans le lin. Le cas de la lutte contre *Lychnis githago* est discuté par Brenchley (1920) qui conseille plutôt un tri juste avant la récolte. Cependant, les stades du cycle où la lutte culturale est réalisable sont nombreux. De telles plantes sont spécialement visées à 6 reprises dans les tableaux 3 à 5 (lignes 3.1 ; 3.1bis ; 3.2 ; 3.5 ; 4.12 ; 5.4b) ; la comparaison de ces interventions entre elles montre des effets soit complémentaires (ex. récolte et tris en 3.1 et 5.4b), soit redondants (ex. nettoyage d'outils en 3.2 et empêchement de maturation en 4.12).

2.4.2.Cycle des mimantes des cultures et pratiques de lutte.

A l'état typique, les stocks de diaspores de mimantes sont logiquement limités aux lots de semences agricoles contaminés ("seed mimicry" in McElroy 2014), passant chaque année d'une parcelle à l'autre en fonction des rotations culturales qui comportent la culture incriminée ; autrement dit, leur stock efficace de diaspores dans la parcelle (sur ou dans le sol) est par conséquent nul ou presque.

La contamination d'un lot de cultivar initialement indemne se produit a priori via plusieurs possibilités conditionnant les interventions efficaces (cf. fig. 3) :

-soit des machines déjà contaminées par un lot précédent sali (semer ou moissonneuse) ; la vigilance sur le nettoyage des machines est évoqué plusieurs fois dans la littérature de l'annexe tel Brenchley (1920) ;

-soit des bords de parcelles contiguës contaminées quand des outils débordent sur un rang de l'autre parcelle ou des mauvaises herbes qui versent dans le premier rang de la parcelle voisine ; ces transferts de mimantes entre parcelles voisines sont contrecarrés par divers aménagements paysagers adéquats discutés par Chicouene (2004) ;

-soit via un stock au sol très faible mais non nul ; ainsi quand la coupe de la moissonneuse n'est pas suffisamment rase, il peut rester sur le sol quelques diaspores éphémères ne rentrant pas dans la moissonneuse (cf. tableau 5, ligne 4b).

Considérant un potentiel biotique supérieur à celui de la culture mimée, selon le degré d'investissement dans ces pratiques de lutte culturale, le taux d'infestation du lot qui vient d'être contaminé soit a une progression ralentie par rapport à une absence totale de lutte, soit est stabilisé, soit est diminué ou annulé.

Le sujet des mimantes est à cheval avec les successions culturales : le raisonnement est en prévision du lot de semences de l'année suivante mais non à l'échelle spatiale de la même parcelle où il y a une rotation des cultures. Le classement en mimante stricte vaut dans le cadre d'un système de culture. Selon la proportion du stock d'une part dans les lots de semences, d'autre part au sol (faible ou éphémère), un classement quantitatif des taxons mixtes (c'est-à-dire en partie mimants) est envisageable.

Pour les mimantes, les cibles biologiques ne se heurtent pas à des cibles opposées.

3.LES SUCCESSIONS CULTURALES

Le principe est d'exploiter la succession de cultures, voire de conduites différentes d'une culture, y compris les intercultures, dans le but de limiter les infestations de cultures suivantes. Au sens large, la notion peut englober toute pratique qui agit sur les cycles des mauvaises herbes quelles que soient les méthodes de lutte ; ces pratiques et leur organisation sont ici destinées à limiter le stock efficient de certaines diaspores susceptibles de lever dans une culture à venir.

3.1.Généralités sur les descripteurs historiques de pratiques.

Le mot "rotations" des cultures est cité dans 37 livres sur les 42 de l'annexe ; l'expression plus générale de successions y est rare (i.e. Hakansson 2003) ; dans celui de Saraswat & al. (2003) ou dans l'article de Andrade & al. (2017), la notion est intitulée "crop sequence". Bien que le sujet soit fréquent, le texte correspondant est réduit à une page, voire moins, pour presque tous les ouvrages ; Singh & al. (2006) font exception en abordant surtout 2 cas particuliers d'aires géographiques ("semiarid" and "Canadian Prairies", respectivement avec 21 et 31 p.) et celui de la résistance aux herbicides (en moins d'une page).

Les critères implicites d'alternance figurant dans la liste des livres précités sont récapitulés et classés hiérarchiquement dans le tableau 6 en 6 groupes supérieurs et 17 groupes inférieurs. La précision dans les définitions de ces groupes est variable :

-La plus faible élaboration conceptuelle de descripteurs est la simple allusion à des taxons cultivés différents ; c'est le premier groupe, avec 16 références sur les espèces, une sur les familles, une entre Monocotyledonae et Dicotyledonae.

-L'attribut cultural regroupe plusieurs descripteurs traditionnels de pratiques. Des fonctions nettoyantes a priori dans la succession sont explicitées dans les lignes 2.1, 2.2 et 2.b ; c'est sans indication de cibles, ni taxonomiques, ni biologiques. Pour comparer les effets des rotations sur les mauvaises herbes, Singh & al. (2006 : 199) raisonnent sur des additions de densités toutes espèces confondues. La notion de "break crops" (Gupta 2007 : 78-79) sous-entend des cibles de mauvaises herbes surtout connues comme des plantes parasites (ex. *Orobanche* in Labrada & al. 1994 : 370). Une qualité ou une capacité de compétition ou de couvert sont évoquées dans les lignes 2.3 à 2.5.

-La ligne 2.b assure la transition avec le recours à d'autres méthodes, et précisément des pratiques mécaniques (ligne 3.1 avec 11 citations) ; les pratiques chimiques sont également citées dans les ouvrages des dernières décennies (ligne 3.2 avec 14 références) soit pour leur alternance avec d'autres méthodes, soit entre elles-mêmes.

-Les critères temporels comprennent des idées générales (lignes 4.1 à 4.3) comprenant la longueur du cycle sous la forme de culture annuelle vs. pérenne, ou calendrier ou phénologie générale de la culture (nombre de jours pour certaines cultures annuelles). En plus, sous climat

tempéré, il y a les alternances de dates ou saisons de mise en place et/ou de récolte, avec 11 références en ligne 4.5).

-Les critères édaphiques (lignes 5.1 à 5.3) concernent en particulier, au cours d'une rotation, une forte fertilisation pour une culture exigeante vis à vis de la richesse du sol en nutriments, suivie de cultures de plus en plus frugales.

-Les lignes 6.1 et 6.2 correspondent à des critères peu cités, plus ou moins précis.

3.2.Mécanismes biologiques en jeu.

Les aspects de démographie des diaspores liés à la rotation sont d'abord présentés de façon générale, puis centrés sur l'assainissement.

3.2.1.Principes communs d'organisation d'une succession culturale.

Les préoccupations autour des mécanismes biologiques en jeu dans le recours aux rotations se sont développées progressivement depuis le début du XX^e siècle. La notion de "cleaning crop" telle qu'invoquée par Brenchley (1920 : 49) demeure une appréciation vague. Dans les traités de désherbage ou d'agronomie, la description de la succession est généralement limitée à des exemples de cultures ou types de cultures, ceci sans recommandations rigoureuses de choix dans la séquence.

L'alternance porte logiquement entre des cultures salissantes vs. nettoyantes, voire la jachère (i.e. Singh & al. 2006) ; les dernières catégories seraient supposées précéder la culture de plus haute valeur ajoutée pour l'agriculteur et qui serait plus sensible à un salissement donné. Cette conception de successions empiriques plus ou moins régulières amène à s'intéresser aux mécanismes biologiques sous-jacents.

Déjà, dans l'effet d'un précédent cultural, plusieurs phénomènes biologiques sont possibles. Le cas des résultats de la culture de seigle en culture principale ou en couvert, via un mulch en particulier, sont très documentés (cf. Singh & al. 2006 : 131-166). L'effet de résidus de récolte sur le développement de mauvaises herbes dans la culture suivante est d'une part mécanique via la couverture du sol, d'autre part chimique (allélopathie). Il s'adresse au stock possiblement actif dans la culture donnée. La sélectivité des arrières effets de couverts demeure peu connue vis à vis des mauvaises herbes.

Par ailleurs, un rôle démographique direct est fonction du stock de diaspores non renouvelé. Les descripteurs biologiques essentiels se rapportant aux successions culturales sont comparés par Chicouène (2006) ; leur compréhension est reprise schématiquement dans la figure 3.

Dans une rotation équilibrée, théoriquement les taxons multipliés dans certaines cultures seraient les mêmes que ceux qui sont réduits par d'autres en termes de sélectivité taxonomique ; sinon, à terme de plusieurs cycles de la rotation, il y aurait des dérives floristiques conséquentes. Toutefois dans une succession quelconque telle qu'en fig. 3, se pose la question d'assimiler comme identiques les stocks multipliés et assainis.

3.2.1. L'organisation de l'assainissement.

Dans le cas général, l'assainissement implique des reproductions inférieures aux pertes pendant le cycle cultural, l'idéal étant l'absence de reproduction. Le délai d'épuisement d'un stock de diaspores implique qu'il n'est pas renouvelé pendant un temps supérieur à sa durée de vie. L'empêchement de la multiplication (2^e ligne du tableau 2), au minimum, évite l'augmentation du stock ; cette stratégie (Chicouene 2000b) présente un intérêt dans 2 types de situations :

- pour des diaspores à vie longue alors que la population est encore très faible dans la parcelle,

- pour des diaspores à vie inférieure à la suite de cultures et intercultures nettoyantes quel que soit le niveau de la population.

Les mécanismes habituels d'épuisement des stocks sont a priori de 3 types :

- la régulation biologique (les maladies et la prédation, cette dernière en particulier étudiée en l'absence de travail du sol via plusieurs publications),

- la mort des diaspores dormantes ou ayant germé mais non levé,

- les levées qui sont, selon les taxons, favorisées ou inhibées par le travail du sol récent (Chancellor 1964 ; Chicouène 1996).

Ces 3 causes interviennent pendant le cycle cultural et en intercultures.

Comme les durées d'assainissement dépendent de la persistance des diaspores, diverses stratégies sur les stocks sont possibles. Elles sont récapitulées par Buhler & al. (1999 : 149-155). Dans le cadre d'une succession, la courbe de survie des diaspores conditionne le nombre d'années nécessaire au nettoyage. Ainsi, l'absence de multiplication concerne différentes échelles de délais :

- quand le stock vit moins d'un an ou d'un cycle cultural, une rotation biennale suffit ; Chicouène (2007) récapitule des possibilités de détruire des diaspores végétatives à vie courte ou d'empêcher leur renouvellement lorsqu'elles sont saisonnières ;

- 2 ans sans reproduction assurent de se débarrasser des diaspores survivant 1 an ; plusieurs espèces dans ce cas sont étudiées par Froud-Williams & al. (1984) ;

- 3 ans sont nécessaires pour les diaspores survivant exceptionnellement 2 ans (ce qui est parfois le cas de tubercules de *Arrhenatherum bulbosum* d'après Le Clerch 1976),

- si la persistance atteint de nombreuses années, il est inconcevable d'avoir une durée d'assainissement suffisante dans le cadre d'une simple succession culturale.

L'assainissement par la prairie, qu'elle soit fauchée ou pâturée, est évoqué à quelques reprises. Brenchley (1920) signale certaines espèces poussant tant en prairies pérennes qu'en cultures annuelles. Pour celles propres à des cultures annuelles, la conservation de diaspores à durée de vie dépassant celle de la prairie est évoquée également par Brenchley (1920) et des données comparatives ponctuelles sont citées par Altieri & Liebman (1988 : 221) ; ainsi, pour *Avena fatua*, les caryopses survivent dans une prairie de 3 ans alors que leur stock est épuisé par 3 ans d'orge de printemps sans reproduction.

3.2.2. Persistance de l'assainissement.

L'objectif est de disposer d'un maximum de cultures potentiellement multiplicatrices de mauvaises herbes majeures mais qui ne se multiplient pas car elles ont été éradiquées lors d'une succession précédente ; l'assainissement vis à vis d'elles devient alors inutile. Cette stratégie est relativisée par Gupta (2007 : 73) qui la considère comme une "expensive adventure" pour une "area". En fait, cela dépend des efforts à mettre en oeuvre pour l'assainissement complet d'une espèce redoutable dans une parcelle.

Cette persistance d'un assainissement précieux après éradication d'un stock efficace de la parcelle dure évidemment tant que la recontamination ne se produit pas. La réintroduction se fait comme pour toute nouvelle espèce, par voie naturelle à partir de parcelles voisines ou par anthropochorie (contamination de lots de semences ou d'outils) ; les précautions pour l'éviter représentent des efforts variant au cas par cas (Chicouène 2004 et 2002).

Quand l'espèce est réintroduite, la vitesse de recolonisation d'une parcelle, c'est-à-dire le nombre d'années possibles de cultures multiplicatrices, dépend de la densité lors de la nouvelle contamination, du potentiel biotique du taxon et du niveau de répression des pratiques de lutte employées à nouveau pour l'assainissement.

3.3.Cas particuliers.

3.3.1. Introduction du labour occasionnel et de la désinfection du sol.

Les labours occasionnels et la désinfection du sol sont considérés dans la succession culturale s.l. par Chicouène (2000a). Ces interventions entre 2 cultures ne sont pas prévues en fig.3. Elles aboutissent à des assainissements instantanés en cas de levées seulement d'origine proches de la surface. Ces 2 modalités ont des particularités un peu différentes :

-Le labour occasionnel, avec rasettes pour favoriser le retournement du sol travaillé, agit sur les diaspores à l'origine de levées superficielles et à vie inférieure à l'intervalle entre labours consécutifs ou au délais entre leur production et le labour. Toutefois de nombreuses études montrent que l'enfouissement tend à allonger la persistance des graines plus ou moins selon les espèces (Buhler & al. 1999 : 151-154).

-La désinfection du sol (par voie thermique telle que la vapeur, la solarisation, ou par voie chimique) atteint les diaspores fournissant des levées superficielles quelle que soit leur durée habituelle de survie.

Ces 2 techniques empêchent le stock situé à une profondeur supérieure aux aptitudes de levée de certains taxons de se manifester. L'efficacité dure tant qu'il n'y a pas de réintroduction ou réinfestation de la zone superficielle. Des outils travaillant le sol sur une épaisseur dépassant celle désinfectée ou la profondeur d'origine des levées (certains cultivateurs à dents) peuvent a priori contrecarrer la performance des 2 opérations citées.

3.3.2. Prise en compte de la lutte chimique.

Du point de vue de la malherbologie, un type de culture est caractérisé par ses pratiques culturales. Sous l'essor de la lutte chimique, Chicouène (2013) relève que plusieurs auteurs de traités récents ne différencient plus les cultures entre elles que par les programmes d'herbicides adaptés à chacune. Cette attitude est à la limite de la lutte culturale mise en évidence dans le tableau 6 (lignes 3.1b et 3.2).

Au sein d'une rotation, l'effet des herbicides est intégré à l'effet des cultures dans les articles de Anderson (2007), Andrade & al. (2017), Colbach & al. (2017) ou considéré à part par Singh & al. (2006). McElroy (2014) propose même d'étendre la notion de plante mimante à la sélection par la lutte chimique. Sachant que le panel de la lutte chimique disponible varie avec les années, les observations sur les effets de cultures testées devraient s'interpréter en fonction des spectres d'efficacité de chaque herbicide employé lors des essais.

3.3.3. Les climats tempérés.

Sous climat saisonnier de type tempéré, les cultures annuelles sont échelonnées au cours des saisons ; ainsi, dans le tableau 6 (11 références en ligne 4.5 et un cas en 6.1), des dates de semis et de récoltes apparaissant sont les 4 saisons "winter, spring, summer, autumn", avec des successions variables entre elles.

Dans une parcelle cohabitent habituellement des mauvaises herbes sempervirentes et d'autres à végétations diversement saisonnières (surtout plantes hivernales et estivales) ; ainsi Chicouène (1992) développe une typologie de calendriers de levée par comparaison aux divers cycles saisonniers des cultures. La rotation entre cultures de printemps et cultures d'automne va a priori jouer sur des mauvaises herbes très saisonnières, mais pas directement sur les sempervirentes. Ces dernières sont concernées indirectement quand des méthodes de lutte (ex. déchaumage mécanique tel que décrit par Chicouène 2007) présentent une efficacité différente selon les saisons ; ainsi en interculture sans labour (cf. Chicouène 2000a), le déchaumage mécanique n'entraîne le dessèchement des stolons (par exemple d'*Agrostis stolonifera*) qu'en été sec.

La conduite d'interculture va également intervenir sur des plantes à multiplication spécialement hivernale. Ainsi *Arrhenatherum bulbosum* tubérise essentiellement en fin d'hiver (en mars dans l'hémisphère nord – cf. Leclerc 1976), qu'il y ait ou non une culture en végétation ou en repos (cas de la luzerne fauchée citée par Chicouène 2007a) ; sa multiplication est permise aussi en interculture hivernale, c'est-à-dire au cours de la saison précédant une culture de printemps. La rotation incluant des cultures de printemps sera efficace seulement si des interventions hivernales d'interculture perturbent la formation des tubercules.

Un calendrier de culture peut être assainissant pour un type de

saisonnalité et salissant pour un autre (Anderson 2007, Chicouène 2007a) : par exemple avec labour, une culture de printemps sans multiplication d'hivernales à reproduction vernale et diaspores vivants moins d'un an (ex. divers *Bromus* annuels) va assainir en *Bromus* et multiplier des estivales ; de même que les tubercules de *Arrhenatherum bulbosum* sont tributaires de la gestion de l'interculture hivernale, la production de rhizomes et de graines de *Calystegia sepium* (qui pousse au moins dans toute culture en place 6 mois) dépend de la conduite de l'interculture estivale.

Des cultures peuvent être implantées tout au long de l'année, mais les avances ou retards (sur peu de semaines ; cf. tableau 4.1) de date d'implantation par rapport à un repère (l'optimum d'une culture donnée) jouent sur quelques taxons. Ces derniers peuvent s'avérer suffisamment distincts du point de vue de la saisonnalité, ceci tant en cultures d'automne (cf. Colbach and Meziere 2013) qu'en cultures de printemps (Chicouène, 2007a et 2016).

Quand une culture installée à une saison donnée contribue à l'assainissement des mauvaises herbes multipliées par une culture d'une autre saison, le nombre d'années consécutives de type assainissant est logiquement tributaire de la durée des stocks visés. Ainsi, dans une situation particulière, Anderson (2007) aboutit à privilégier l'alternance entre 2 cultures de printemps puis 2 cultures d'automne afin de maîtriser les espèces majeures dont les stocks persistent environ 12 mois dans les 2 cas de cycles saisonniers.

4.DISCUSSION GENERALE.

Les pratiques culturelles sont présentes peu ou prou pour chaque culture, voire entre cultures consécutives, avec chacune une variabilité plus ou moins grande selon les cultures ou les assolements. Il s'agit de jongler entre les perspectives qu'elles offrent et la flore d'une parcelle ou d'une région. Elles peuvent être présentées indépendamment les unes des autres, en combinaisons entre elles ou avec d'autres méthodes de gestion.

4.1.Comparaisons par pratiques indépendantes.

Il est plus simple de commencer par considérer chaque pratique individuellement, comme si les interactions n'existaient pas. Cette démarche correspond aussi aux écrits les plus anciens de l'annexe. Avec le temps, la part d'empirisme va en diminuant, laissant plus de place à la compréhension des phénomènes et à la question du rassemblement de données paraissant contradictoires au premier abord.

4.1.1. Descripteurs historiques des pratiques culturelles.

Antérieurement à la lutte chimique, la qualification des types cultureux repose sur des catégories qui ne font pas l'unanimité des auteurs en annexe. Les idées qui s'en dégagent pourraient être récapitulées ainsi :

-centré sur un seul cycle et en même temps par rapport à la lutte mécanique : culture sarclée (où des méthodes mécaniques sélectives sont les plus faciles à mettre en oeuvre et généralement indispensables à la conduite de la culture) vs. compétitive (où la conduite jusqu'à la récolte est habituellement envisageable sans intervention mécanique) ; la notion de "competitive crop" (Lee and Thierfelder, 2017) correspondant à une culture pouvant a priori se débrouiller dans une parcelle plus sale ;

-spécifiques à l'organisation de successions culturelles, avec l'opposition entre salissantes et nettoyantes.

Le croisement entre ces 2 séries de 2 qualificatifs chacune aboutirait à plusieurs situations théoriques. Dans la mesure où ces entités restent peu précises et qualitatives, voire subjectives, elles sont au plus pertinentes pour des cas extrêmes de cultures (l'expression de l'aspect quantitatif via "competitive ability" apparaît d'ailleurs dans certaines références en ligne 4 du tableau 6) et de parcelles à flore réduite : elles n'intéressent pas forcément l'ensemble de la flore d'une parcelle mais seulement des groupes biologiques définis pour chaque cas. Jaubran and Chahan (2018) soulignent que la catégorie "competitive crop" correspond à des cultures soit "weed tolerance", soit "weed suppression".

Une culture assainissante ou nettoyante vis-à-vis d'une espèce signifie à la fois sans sa reproduction et avec une survie de ses diaspores ne dépassant pas le cycle de la culture.

Ces notions pourraient servir à classer toutes les pratiques exposées. Actuellement, compte-tenu des méthodes de lutte développées au cours des dernières décennies, elles peuvent aider à la réflexion dans la multiplicité des combinaisons possibles entre descripteurs de cultures et de

mauvaises herbes, et ceci à condition de ne pas se restreindre aux méthodes mécaniques comme cela se concevait autrefois.

Tous les critères utilisés pour classer les pratiques exposées quelle que soit l'âge de la publication où elles figurent se complètent au sein d'une échelle d'approche ; en même temps, les 2 séries de listes (à savoir d'une part les tableaux 3 à 5 et § 2.1.2, d'autre part le tableau 6) se ressemblent : les principales différences portent sur la place plus importante des caractères de cultivars au sein d'une espèce et celle beaucoup plus restreinte ou absente de la lutte chimique dans la première série. Ces listes de pratiques culturales compilées restent ouvertes. A l'exception des méthodes mécaniques atteignant le sol, ces pratiques comparées sont utilisables *in no-till or conservation agriculture*.

4.1.2. Descripteurs de pratiques et descripteurs de cibles biologiques.

Les 2 listes des descripteurs de pratiques culturales récapitulés à partir de la bibliographie sont élaborées pour les pratiques considérées sur un seul cycle et pour l'organisation d'une succession culturale. La notion de cible biologique qui sert à décrire, comprendre, interpréter les effets des pratiques culturales (colonne D du tableau 7) met en évidence la dualité suivante :

- pour le raisonnement sur un seul cycle cultural, les cibles biologiques correspondantes sont presque aussi nombreuses et indépendantes que les types de pratiques ;
- pour envisager les successions culturales, dans le cas général (ligne 4 du tableau 7), la description de l'assainissement repose sur la durée de vie du stock de diaspores efficaces, soit un seul descripteur ; dans les cas particuliers que sont l'introduction d'un labour ou de la désinfection du sol (respectivement lignes 6 et 5 du tableau 7), la profondeur de levée est respectivement le second descripteur ou le seul.

Les vitesses d'action des interventions ou pratiques (colonne E du tableau 7) sont variables : le plus court est "instantané" (exclusif dans 3 lignes plutôt vers le bas du tableau 7), puis elles deviennent plus ou moins intermédiaires à l'intérieur d'un cycle cultural, et elles atteignent jusqu'à plusieurs années d'épuisement réalisable de certains stocks de diaspores (selon les pratiques et le type de diaspores visées) dans la limite de la durée de la rotation.

Parallèlement à l'efficacité, le soucis des conséquences sur les cibles et leurs revers au terme de plusieurs années apparaît dans de nombreuses situations. Ainsi, l'action de certains changements de physico-chimie du sol va s'exercer sur de nombreux cycles culturels. Par ailleurs, la question de la persistance d'action pour les effets d'une pratique visant un seul cycle se pose surtout à l'échelle des successions culturales via la dynamique de progression des infestations entre parcelles et au sein de chacune. La conduite d'un cycle ou d'une interculture a également le soucis des cycles suivants mais seulement quand la production ou l'apport de diaspores sont conséquents par rapport au stock initial de la parcelle et risquent d'être difficiles à gérer.

4.1.3. Niveaux de connaissance des effets par pratique.

Les connaissances par pratique culturale sont de 3 niveaux possibles :

(1)-Des pratiques empiriques, généralement traditionnelles, à échelle de perception guère définie, ne sont pas forcément optimisées. Elles datent souvent d'avant le développement des herbicides au XX^e siècle. Cependant des techniques récentes s'étendent avec l'essor des conduites sans labours, en même temps que le matériel se perfectionne dans les pays développés. Ces méthodes culturales sont généralement peu explicitées dans les traités d'agronomie. Quelques enquêtes sont réalisées sur certaines mauvaises herbes dans des entités géographiques limitées, par exemple pour certaines données de Colbach & al. (2018).

(2)-Le "plot level" de la classification de Lichtfouse & al. (2009) reste ponctuel pour la lutte culturale, et selon l'objectif, l'essai est conduit uniquement entre des mauvaises herbes ou avec l'accompagnement de cultures, en contamination naturelle ou artificielle. Des résultats de rotation et de mulching par mauvaise herbe majeure sont comparés par Lee and Thierfelder (2017) ; pour assurer les interprétations ultérieures comparant les caractères des mauvaises herbes, il est impératif de raisonner par taxon ou par groupe ou cible biologique, et non uniquement en flore globale de l'essai ; voici quelques exemples :

-récolte d'orge à 2 densités de semis avec une mauvaise herbe *Avena fatua* rapporté dans 2 essais par Cussan & al. (1976 :136) ;

-dans leur essai, Drew & al. (2009) évoquent certaines mauvaises herbes qui ne répondent pas comme la plupart des autres à différents paramètres de compétition des cultures (ex. la hauteur).

(3)-La compréhension de nombreux mécanismes biologiques à l'oeuvre dans les cycles culturaux : plus ou moins précis, leur connaissance est susceptible de contribuer à l'ajustement ou à l'amélioration des pratiques issues des 2 catégories précitées ; ainsi Bertholdsson (2011) propose un protocole pour discerner l'allélopathie de la compétition. Ces interprétations servent, d'une part, à faciliter les interpolations et les extrapolations possibles à partir de quelques études expérimentales lourdes déjà réalisées, d'autre part, à proposer de nouveaux essais pour tester des hypothèses originales d'amélioration des techniques.

4.1.4. Bases de données sur les effets de chaque pratique.

Les améliorations possibles des façons de produire portent d'une part sur des niveaux de savoirs grâce à l'expérimentation, d'autre part sur l'élaboration de bases de données en certains descripteurs de la biologie des mauvaises herbes (4^e colonne du tableau 7 avec en particulier les courbes de survie des diaspores afin de choisir les successions).

Les mécanismes en jeu dans l'efficacité d'une méthode culturale quelconque peuvent a priori être multiples :

- une réponse indirecte à d'autres méthodes de lutte employées simultanément dans la parcelle (ex. pratiques mécaniques, soit, à sélectivité limitée, dans une culture sarclée alors qu'elles sont absentes dans une culture étouffante, soit dans le temps entre 2 cultures),
- une action simplement physiologique (ex. liée à la phénologie de chaque taxon),
- la concurrence avec les cultures ou d'autres mauvaises herbes,
- des régulations biologiques par des parasites, etc.

Les différents niveaux de renseignements qui viennent d'être abordés ne figurent pas tous dans l'annexe ou dans les tableaux 3 à 5 ; ils pourraient être compilés dans une base de données encyclopédique grâce à la traçabilité de la bibliographie. Il s'agit de centraliser les observations d'expert et les connaissances expérimentales sous forme de bases de données thématiques. Une modélisation mathématique serait envisageable à partir des 2 derniers niveaux conjointement.

La sélection de flore dans la parcelle est un risque comme pour toute pratique de protection des cultures ; pour chacune, il convient de distinguer ce qui est simplement épargné (non cible), et les variations autour d'un cycle cultural optimal et incluant des mauvaises herbes à cycles opposés à la cible (tableaux 4 et 5).

4.2.Cumuls et combinaisons de pratiques culturelles.

4.2.1.Types de relations dans les combinaisons de pratiques culturelles.

Les combinaisons de pratiques culturelles aboutissent a priori à des interférences de 3 types : positive, neutre ou négative.

-Le cumul d'efficacité de pratiques culturelles est rapporté par Singh & al. (2006) et Anderson (2007) pour des flores réduites à peu d'espèces, dans quelques essais. En "conservation agriculture", les effets de combinaisons de pratiques culturelles sont rapportés sur quelques espèces. Et à des échelles mixtes, c'est-à-dire d'une part sur un cycle et d'autre part sur la succession, Borger & al. (2016) testent le rapprochement des rangs et la destruction des graines à la moisson, tandis que Jabran and Chauhan (2018) envisagent la combinaison de "cover crops, mulch and rotations".

-Certaines combinaisons semblent inutiles en raisons de mécanismes ou actions redondants. En particulier, les mimantes strictes sont accessibles à plusieurs interventions destinées à la purification des lots de semences des cultures. C'est également le cas du labour suivant la suppression des menues-pailles et une récolte rase pour les diaspores à levée d'origine peu profondes (ex. *Bromus secalinus* mimante mixte en non labour, ou si une culture de fin de printemps suit – Chicouène 2000a).

-Des relations négatives existent pour plusieurs raisons. Des inconvénients de nombreuses pratiques (la dernière colonne des tableaux III à V), de mécanismes d'action sont tels que les effets s'annulent. Autrement dit les 2 pratiques appliquées deviennent inefficaces. Ainsi, l'évitement de la récolte du stock par battage tardif après maturité est contraire à une rotation assainissante. De même, une dose de semis élevée est difficilement compatible avec un cultivar haut ou une fertilisation élevée car le risque de favoriser des grimpantes est élevé (phénomène suggéré par les résultats sur *Galium aparine* cités par Drew & al., 2009) et alors celui de verse de cultures (favorisant alors des mauvaises herbes héliophiles rases comme en l'absence de culture haute ou comme pour un mulch).

4.2.2.Choix des combinaisons de pratiques dans les essais.

Les nombreux descripteurs des cycles cultureux multiplient leurs combinaisons possibles à l'échelle d'une rotation. Même en considérant peu de classes d'états par descripteur, les comparaisons des spectres d'action amènent à des nombres de choix énormes. Déjà, sur un cycle, la mise en oeuvre peut s'éloigner de l'optimum phytotechnique via plusieurs dizaines de dimensions.

Il existe parfois des données par couples ou plus de pratiques. A l'échelle d'un seul cycle cultural, 2 descripteurs à plusieurs états chacun

sont souvent combinés : dates de semis et de fertilisation sont citées par Lee and Thierfelder (2017) en Afrique du Sud. En Iran, Koocheki & al. (2009) comparent une flore de 24 taxons sous 3 rotations avec 2 saisons d'implantation des cultures.

Cette approche du fonctionnement ne se conçoit bien que pour les pratiques sans inconvénient ; c'est-à-dire que pour la majorité d'entre elles, c'est plus délicat. Par ailleurs, compte-tenu de pratiques d'efficacité et de cibles variables, les alternatives sont :

- soit de se concentrer sur l'intensité d'une seule pratique connue pour être potentiellement très efficace sur le taxon ciblé ;
- soit de cumuler plusieurs pratiques de même sélectivité taxonomique et à efficacité chacune limitée.

Connaître les mécanismes d'action de chaque pratique indépendamment de ceux des autres paraît précieux dans le but de maîtriser en particulier les risques de combinaisons à relations négatives. La recherche de précautions pour organiser les combinaisons d'interventions semble une priorité vis à vis des taxons les plus redoutables dans une parcelle. Etant donné les sélections possibles, l'ensemble de la flore de la parcelle ou de l'aire géographique de raisonnement est à prendre en compte. Il est nécessaire de disposer de connaissances minimales sur les états de descripteurs biologiques complémentaires pour la flore et sur leurs diverses relations avec des descripteurs de types de cultures.

4.2.3.Cas des prairies :

Des choix simples entre des combinaisons d'alternatives sont illustrés par les prairies temporaires car les mauvaises herbes y comptent peu de descripteurs cultureux (2^e ligne du tableau 7 et Chicouène 2007 b). Leur type de salissement est tributaire des hauteurs de végétation avant et après chaque cycle d'exploitation, paramètres eux-mêmes dépendants des calendriers de production. La dernière année est sacrifiée du point de vue de la production de diaspores facilement éliminées dans les cultures ultérieures. En luzerne pure, sous climat tempéré, les taxons à développement et reproduction en hiver (des hivernales strictes et des sempervirentes à cycle court) sont limités par 3 solutions :

- soit une culture associée pour l'hiver contre les héliophiles à croissance plus lente que cette culture,
- soit une lutte par autre méthode (ex. mécanique),
- soit les laisser se multiplier et alors proscrire des cultures d'automne après la luzerne pendant un nombre d'années fonction de la durée de vie des diaspores produites (soit au moins 2 ans avec les tubercules d'*Arrhenatherum bulbosum*). Toutefois, les cultures d'automne deviennent possibles par l'alternative avec des méthodes non strictement culturelles de lutte.

4.3. Stratégies et relations avec les méthodes non culturelles.

4.3.1. Les méthodes culturelles dans les stratégies générales de lutte.

Les stratégies de lutte peuvent être globalement organisées en fonction des 4 exemples comparés au tableau 2, non forcément propres aux méthodes culturelles s.s. ; les 3 premiers surtout sont étroitement liés aux successions.

Si une stratégie assainissante aboutit à une éradication dans une parcelle, la probabilité de réintroduction du taxon dépend de méthodes culturelles mais aussi de méthodes paysagères pour certains types de dissémination ; à l'inverse, des échanges à partir de réservoirs de régulateurs biologiques hors de la parcelle sont à envisager au cas par cas (Chicouène 2002).

Au sein d'une parcelle, il existe toujours des pratiques culturelles ; leurs effets sont utiles à connaître pour la coordination avec les autres pratiques de lutttes disponibles. En lutte intégrée, une association de différentes méthodes de lutte en plus de méthodes culturelles est souvent préconisé (i.e. Anderson 2007 ; Borger & al., 2016 ; Lee and Thierfelder, 2017 ; Jabran and Chauhan, 2018).

Les indications stratégiques portent surtout sur quelques espèces, sous une approche souvent monospécifique :

-dans 28 traités de désherbage sur les 51 comparés par Chicouène (2013) figurent les principales méthodes utilisables contre quelques dizaines de taxons en général, incluant habituellement les possibilités de certaines pratiques culturelles ;

-plusieurs articles rapportent des suivis pluriannuels d'essais sur une espèce pour optimiser certaines stratégies en accompagnement de méthodes culturelles ; voici 4 exemples : sur *Alopecurus myosuroides*, Colbach & al. (2020), avec le modèle ALOMYSYS, comparent "crop sequence", plusieurs pratiques culturelles s.s., "optimal herbicide spraying, mouldboard ploughing" ; sur *Lolium rigidum*, Borger & al. (2016) tentent une éradication sur de nombreuses années en jouant sur l'espacement des rangs, la suppression de "crop residue", des herbicides ; contre *Avena fatua*, Tidemann & al. (2016) montrent l'intérêt en "Integrated Pest Management" d'associer diverses méthodes, respectivement l'espacement des rangs et la destruction des graines, puis la rotation et la prise en compte de "preharwest shattering" ; avec *Phelipanche ramosa* dans la modélisation FLORSYS, Colbach & al. (2017) combinent quelques méthodes culturelles s.s. ("sowing and harwest date, tillage), des rotations, une lutte chimique et mécanique.

Les études par espèce testent à chaque fois un nombre réduit de pratiques culturelles et d'autres méthodes ; elles ne mettent guère en évidence, ni n'explicitent la possible existence de taxons à réactions opposées à

certaines pratiques, ni leur place dans la gestion d'un ensemble floristique. Par ailleurs, sur le détail de l'ensemble des espèces annuelles de parcelles de contrées limitées, Colbach & al. (2017) et Colbach & Cordeau (2018) recueillent dans le modèle FLORSYS des données sur certaines pratiques culturales parmi d'autres pratiques, envisagent des probabilités de "overall performance" par "strategy", en discutant de "correlation between cultural practices" ; les perspectives permises seraient à développer sur l'ensemble de la flore de parcelles et avec les nombreuses méthodes culturales récapitulées dans le tableau 6.

4.3.2. Types d'interférences entre mécanismes de sélectivité.

Un bilan entre avantages et inconvénients d'une pratique par rapport à une autre ayant des points communs de sélectivité taxonomique dépasse évidemment les seules méthodes culturales mais les mécanismes mis en évidence pour ces dernières sont à comparer à ceux d'autres méthodes. La question de la stratégie globale contre les mauvaises herbes d'un système cultural se pose pour n'importe quelle pratique de lutte, culturale ou non, c'est-à-dire l'ensemble des pratiques appliquées ou applicables dans une parcelle. Parallèlement, les 3 types de relations discutés pour la combinaison de pratiques culturales entre elles sont extensibles aux combinaisons entre pratiques culturales et non culturales. L'analyse des mécanismes de sélectivité en jeu va encore servir à en évaluer les intérêts et les risques, compte tenu des inconvénients inhérents à plusieurs pratiques culturales et aux types d'interactions.

Quand des cibles sont citées dans la littérature, elles sont le plus souvent seulement taxonomiques et en même temps réduites (ex. in Singh & al., 2006). L'évaluation de l'effet d'une ou de quelques pratiques culturales parmi d'autres méthodes apparaît dans quelques études monospécifiques déjà citées au § 4.3.1 ; les relations qui sont évaluées sont surtout les cumuls d'efficacité.

Les types d'interférences (4 groupes au tableau 8) avec les méthodes non culturales peuvent varier en fonction des pratiques considérées 2 à 2, de leurs cibles et contre-cibles. Bref, c'est à l'échelle d'une zone phytogéographique suffisante que les substitutions de méthodes s'analysent, et sur une échelle de temps conséquente pour lever les corrélations éphémères possibles entre l'effet d'une culture et les effets des herbicides qui y sont employés lors des années d'étude.

Les interférences négatives entre des méthodes culturales et d'autres peuvent s'exercer dans les 2 sens selon la chronologie des actions :

-direct : par exemple, les interventions mécaniques brassant le sol profondément vont plus ou moins annuler l'effet de méthodes assurant un assainissement en surface pour les espèces levant près de la surface et présentant encore des diaspores viables en profondeur.

-indirect : certaines méthodes culturales pourraient perturber des régulations biologiques existant par ailleurs. Leur action est souvent considérée complexe depuis Pammel (1911) et difficile à prévoir (Upadhyaya & al. 2007 : 27). Ce risque d'interactions négatives implique de connaître des mécanismes d'action de chaque pratique culturale ; si elle agit par l'intermédiaire d'une régulation biologique, elle pourrait se trouver perturbée par une autre intervention culturale ; l'évaluation de ses conditions d'efficacité aiderait à choisir quand les prendre en compte.

4.3.3. Comparaison de descripteurs entre méthodes culturales et d'autres.

Les multiples mécanismes et cibles biologiques des méthodes culturales sont plus complexes à appréhender que pour les seules méthodes mécaniques ; en effet ces dernières sont réduites à quelques principes

généraux, essentiellement d'architecture, schématisés par Chicouène (2007c) sur la base de 2 mécanismes principaux opposés (épuisement des réserves énergétiques vs. dessèchement). Les actions du labour en fonction des formes biologiques et des conditions pédoclimatiques est montré par Chicouène (2000a) : 2 types de cibles extrêmes sont décrits par l'architecture (profondeurs de formation et de levée) à savoir la limitation des stolonifères en conditions les plus humides et asphyxiantes, des organes repoussants souterrains profonds ailleurs.

Ces rapprochements entre des descripteurs architecturaux des 2 types de méthodes traditionnelles rejoindrait 2 types extrêmes par plusieurs descripteurs, au moins en climat tempéré (Chicouène 2000a, 2007 a et b, 2016) :

- des héliophiles basses, stolonifères, favorisées en conditions pédoclimatiques humides et par des cultures ou intercultures basses, difficilement combattues par les déchaumages, mais limitées par le labour,
- des mauvaises herbes vigoureuses, hautes, à levée d'origine profonde (fortes réserves énergétiques des diaspores), en sol profond et sain, et susceptibles de traverser autant une couche de sol labourée qu'une couche de mulch mort, voire un couvert cultural haut (ex. fig. 1).

Ainsi, de nombreux paramètres de feuillage et de profondeur de levée deviennent des descripteurs communs à la mise en oeuvre de plusieurs groupes de méthodes de lutte : en plus de luttés culturales, elles servent beaucoup, au moins pour la lutte mécanique et la lutte chimique. Pour toutes les stratégies, les prévisions de peuplement en fonction de la diversité biologique des diaspores (Chicouène 2004a) sont une étape capitale pour décider de pratiques culturales et de plusieurs autres. Une base de données en biologie des mauvaises herbes destinée à cette prévision de salissement et à la lutte culturale pourrait être utile à la combinaison avec d'autres méthodes de gestion, et ceci d'autant plus que de nombreux descripteurs conditionnent simultanément plusieurs méthodes. L'idéal logique est de contribuer à la coordination avec d'autres méthodes en en comparant les cibles.

Les méthodes paysagères interviennent quant à elles directement par les transferts entre parcelles de mauvaises herbes, en particulier de mimantes et de celles facilement assainies (Chicouène 2002 et 2004b) et indirectement sur la source de régulation biologique. Parallèlement, le sujet du niveau de population exploitable en régulation biologique est capital : si son efficacité est parfois proportionnelle à la densité du taxon (ex. Westerman & al. 2008), alors ce phénomène, quand il est efficient sur certaines espèces, est susceptible de remettre en cause des notions classiques d'assainissement visant à minimiser les stocks de diaspores plutôt que la nuisibilité, voire ainsi que la recherche d'additions d'efficacités. Ces relations, également exploitables en gestion de la biodiversité, constituent un thème indispensable à des modèles d'agriculture durable ou d'agroécologie. Ce serait un complément à l'approche "multiobjective" de Colbah & al. (2017b et 2017 c) sur la biodiversité.

5. Conclusion.

Les méthodes culturales inventoriées sont ordonnées à partir de références qui comportent chacune un nombre et une classification variables de pratiques ; elles rassemblent en tout des critères de choix d'espèces cultivées ou de cultivars, de la conduite des parcelles et de leurs successions. Elles apparaissent finalement appréhendées à 2 échelles de problématiques distinctes. Dans l'une, il n'y a pas de délimitation absolue avec d'autres types de méthodes de lutte : c'est la stratégie dans la succession des conduites des cycles culturaux (toutes méthodes de lutte confondues), généralement pluriannuelle ; autrement dit, c'est la façon de faire se succéder des pratiques différentes dans des cultures consécutives qui aboutit au caractère de lutte culturale. A l'autre échelle, au sens strict, c'est-à-dire en considérant un seul cycle de culture, les méthodes culturales n'englobent pas les autres méthodes de lutte, à l'exception éventuelle d'une régulation biologique qui en serait tributaire, voire (à la limite) d'interventions mécaniques sélectives permises dans certaines cultures ; la particularité de la plupart des nombreuses pratiques de lutte culturale est leur risque de bénéficier à des mauvaises herbes opposées à la cible. Cette dualité répandue justifie 2 conséquences :

-d'une part, il s'agit d'éviter les cas où un protocole avec une évaluation globale toutes mauvaises herbes confondues et non déterminées aboutirait logiquement à une conclusion opposée quand cette flore correspondrait à une cible biologique opposée ; une bonne exploitation des études sur les pratiques culturales nécessite impérativement une présentation des résultats par cibles biologiques connues (possiblement au moins abordées ultérieurement via des détails des résultats par taxon) ;

-d'autre part, des bases de données sur les descripteurs biologiques de la flore ont besoin d'être suffisamment adaptées, assurant une manipulation de notions plus subtiles qu'une simple balance entre bénéfice et coût immédiats.

Les efficacités sont possiblement proportionnelles, pour certaines formes biologiques, à l'intensité des efforts autour de l'optimum phytotechnique d'une culture, d'un assolement ou d'un système de culture. Afin de mieux en cerner les enjeux, les pratiques dont les mécanismes d'action reposent seulement sur des hypothèses peu étayées dans la littérature seraient à préciser, en particulier sur la relation quantitative entre un descripteur essentiel et la cible correspondante.

Les descripteurs biologiques prioritaires des cibles nécessitent un consensus ; or une difficulté est que certaines synthèses récentes sur des méthodes culturales ne reprennent pas des savoirs admis dans des écrits de malherbologie plus anciens. Abstraction faite de telles ambiguïtés et la nécessité de réhabiliter certains acquis, l'explicitation d'une diversité dans l'ensemble des méthodes culturales met en évidence l'éventail des possibilités offertes. En toute rigueur, les listes de cibles définies par pratique seraient à considérer dans le fonctionnement des agrosystèmes. C'est une étape vers plus de technicité, logiquement comme pour toute méthode de gestion de la flore.

REMERCIEMENTS : À Henri Darmency (Dijon, France) pour ses remarques sur le manuscrit, à Martin FILLAN (Henebont, France) pour la traduction.

Fig. 1 : Une liane herbacée à grosses diaspores (*Calystegia sepium*) grimpant et produisant des graines dans une culture haute (*Zea mays*). (photo à intégrer)

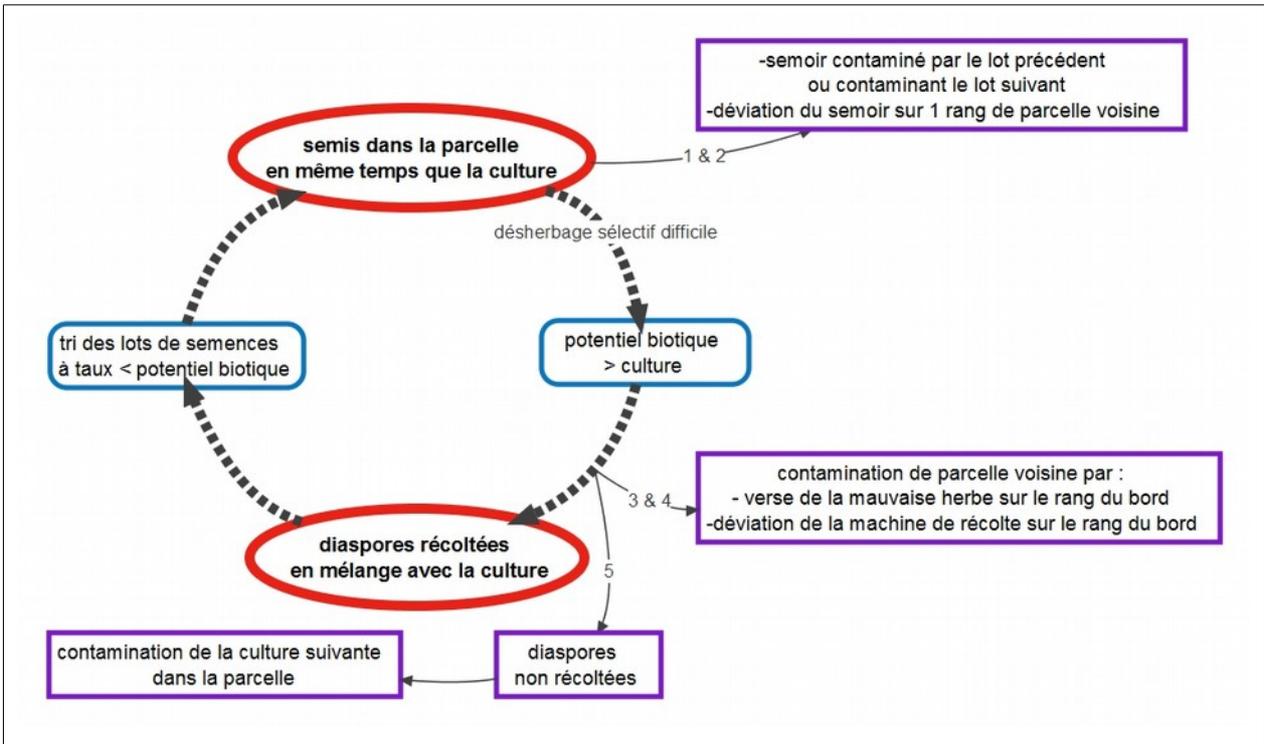


Fig. 2 : Le cycle d'une culture comparé à celui d'une mauvaise herbe mimante.

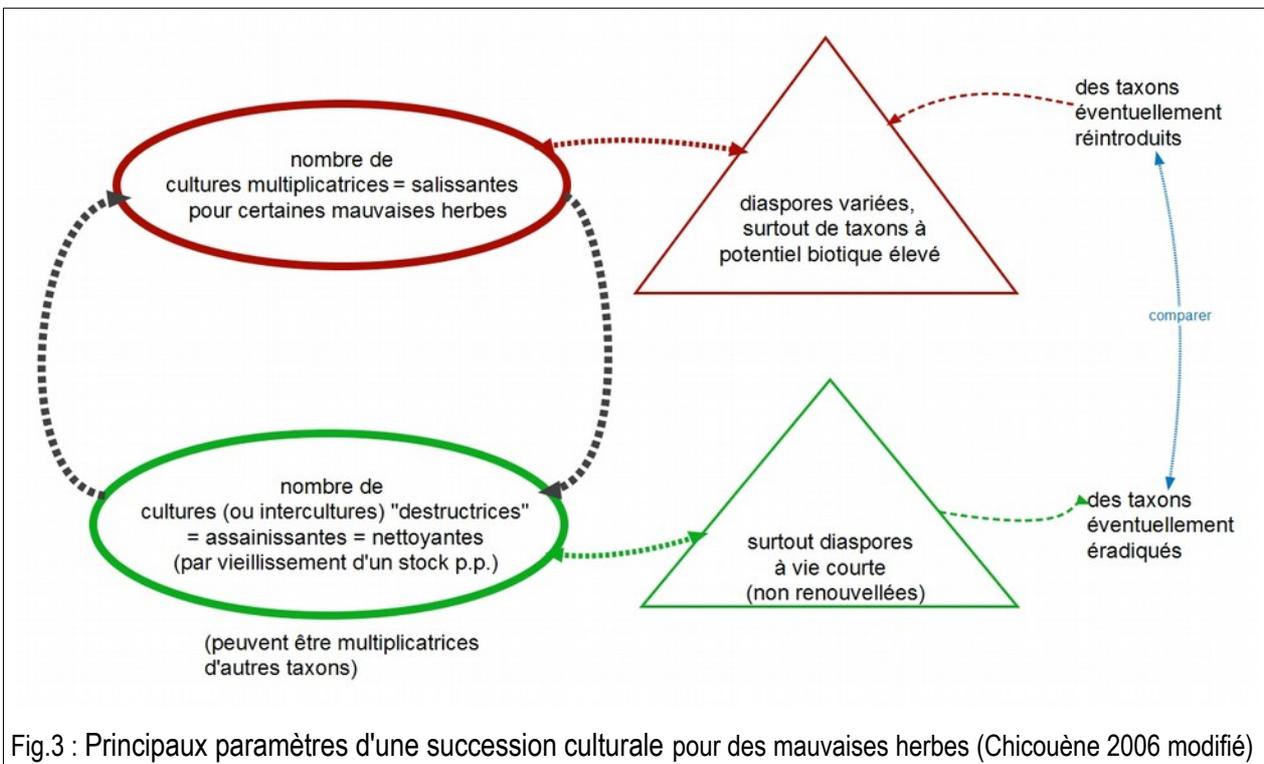


Fig.3 : Principaux paramètres d'une succession culturelle pour des mauvaises herbes (Chicouène 2006 modifié)

Tableau 1 : Classifications des rotations culturales en stratégies figurant dans 25 traités de malherbologie sur les 42 de l'annexe.

Legende pour colonne "cultural" :

"-" : cultural non formalisé ou non explicité

"*" : cultural formalisé mais n'englobant pas les rotations

	<u>Notions de stratégies :</u>	<u>Classement en cultural (cf. legende) :</u>	<u>Reference :</u>
1	"eradication"	-	Brenchley (1920) with only "cleaning crops" (<u>rotation non explicité</u>)
2	"extermination"	-	Pammel (1911)
3	"destruction"	-	Shaw (1892, 1893)
4	"control, destroying"	-	Muenschler (1936)
5	"control"	-	Klingman & Ashton (1982) ; Ross & Lembi (1985)
6	"holding, control"	-	Bolley (1908)
7	"control and eradication"	"cultural"	Ahlgren & al. (1951)
8	"control"	"cultural"	Chaudhary & al. (2011) ; Subramanian & al. (2011)
9	"control"	"cropping methods"	Robbins & al. (1942)
10	-	"cultural"	Singh & al. (2006) ; Walia (2010)
11	-	"cultural practices"	Altieri & Liebman (1988)
12	(hors prévention)	"cultural management"	Upadhyaya & al. (2007)
13	-	"agronomic practices"	Saraswat & al. (2011) Jabran & Chauhan (2018)
14	-	+ ou * ou – selon les chapitres	Naylor & al. (2002)
15	-	*	Gwynne & Murray (1985)
16	-	-	Muzik (1970) ; Zimdahl (1993)
17	"preventive, prevention"	-	Long & Percival (1910) ; Craft (1975) ; Fryer & Matsunaka (1977)
18	"preventive"	*	Pawar (2009)

Tableau 2 : Comparaison de 4 niveaux de raisonnement des stratégies préventives et curatives (extrait de CHICOUENE 2000 complété)

Ex. de niveaux de raisonnement :	A. préventif :	B. curatif :
1. Présence du taxon dans la parcelle	éviter l'introduction de nouveaux taxons problématiques	éradiquer des taxons (quand c'est réalisable et important)
2. Stock de diaspores	empêcher l'augmentation d'un stock	faire diminuer un stock
3. Anticipation ou non des cultures (ou années) suivantes	limiter les populations pour des cultures et/ou années suivantes	prévenir la nuisibilité de la végétation dans la culture en place
4. Développement de la végétation dans la culture en place	intervenir dès que possible (sur les plantules, à la germination ou à la reprise d'activité)	intervenir (juste avant la récolte) sur les adultes ou sur le tri de la récolte

Tableau 3 : Pratiques culturelles à action simple, sans inconvénients du point de vue de la malherbologie. (Chicouene 2016 modifié)

pratiques, descripteur culturel	avantages, cibles	inconvénients éventuels, hypothèses de limites possibles
1) tri poussé des lots de semences ; (Muenscher 1936 : 18, 54 ; Ahlgren & al. 1951 : 16, 126, 159 ; Zimdahl 1993 : 99 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016)	(Upadhyaya & al. : 3-4) ; -mimantes ; -nouvelles sp (ou nouveaux gènes, en particulier ceux de résistance à des herbicides) dans la parcelle* disséminés par des lots de semences	-
1bis) choix de cultivar où le tri est facilité	cultivars de <i>Fagopyrum esculentum</i> à gros grains pour mieux trier les graines de <i>Datura stramonium</i> (Chicouene, 2010)	(sélectionner une autre mimante)
2) nettoyage d'outils de travail du sol ou de récolte ; (Brenchley 1920 : 44 ; Muenscher 1936 : 55 ; Robbins & al. 1942 : 63 ; Fryer & Matsunaka 1977 : 23 ; Zimdahl 1993 : 74-6 ; Smith & al. 1995 : 40 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016)	(Upadhyaya & al. : 4-6 ; Singh & al. : 644-6) ; réduit l'introduction de taxons ou gènes nouveaux dans une parcelle (ou y ayant été éradiqués)*	
3) arrangement spatial des implantations (Ahlgren & al. 1951 : 7 ; Fryer & Matsunaka 1977 : 11 ; Altieri & al. 1988 : 206, 221-2 ; Smith & al. 1995 : 416 ; Walia 2010 : 91 ; Drew & al. 2009 ; Boyer & al., 2016, contre <i>Lolium rigidum</i> en céréales ; Chicouene 2016)	dispersion régulière de la culture pour optimiser l'étouffement des plantules ou des levées tardives héliophiles	
4) culture plus courte que des mauvaises herbes (au moins certains stades) (Chicouene 2016)	-opportunité de repérage visuel de mauvaises herbes hautes à faible densité pour leur destruction localisée -application de méthode sélective sur la hauteur (contact avec rampe électrique ou inhibée d'herbicide, écimeuse) si densité-fréquence élevé	(les individus versés ou nanifiés (par densité de végétation, carence, régulation biologique) ne dépassent pas forcément la culture)
5) menues-pailles éliminées (Boyer & al., 2016, contre <i>Lolium rigidum</i> en céréales ; Tideman & al. 2016 pour <i>Avena fatua</i> ; Chicouene, 2016 ; Lee and Thierfelder, 2017)	réduit l'apport au sol de certaines mimantes ou de certains résidus de cultures	(réduit la nourriture de régulateurs consommateurs de graines et réduit le couvert des résidus de culture)
5bis) cultures associées (King 1966 : 418-9 ; Altieri & al. 1988 : 205, 309 ; Zimdahl 1993 : 182-3 ; Smith & al. 1995, multiple cropping 289-291 ; Poggio 2005 ; Malezieux & al. 2009)	meilleure concurrence (ex. par couverture du sol se complétant ou complémentarité d'allélopathie)	(sélection de taxons supportant les cultures associées retenues)

* cibles communes à 2 pratiques.

Tableau 4 : Pratiques culturales d'action simple avec inconvénients en malherbologie. (Chicouene 2016 modifié)

pratiques, descripteur cultural	avantages, cibles	inconvénients, limites
1)changer la physico-chimie du sol pour l'adapter à une culture (Chicouene 2016) ; amendements (Brenchley 1920 : 68 ; Robbins al al. 1942 : 128 ; pH in Altieri & al. 1988 : 218) ; Kone & al. 2014 ; fertilisation (Fryer & al. 1977 : 8-10 ; Klingman & Ashton 1982 : 311 ; Altieri & al. 1988 : 207 ; Lee and Thierfelder, 2017) ; drainage et irrigation-inondation Robbins al. 1942 : 87 ; etc. in annexe I)	-acidophiles et frugales par amendements et fertilisation (Brenchley : 68-69 ; Robbins : 51-2) ; -fertilisation azotée contre légumineuses (Robbins : 127) ; -hygrophiles par drainage (Muenscher 1936 : 65, 128 ; Altieri & al. 1988 : 218)	Singh & al. : 865 ; fertilisation azotée (Long : 42 ; Altieri & al. 1988 : 219 ; Jabran & Chauhan 2018 : 108-109 p.p.) et potassique (Altieri & al. 1988 : 219) ; favorise des mauvaises herbes importantes de la culture recherchée
2)fertilisation localisée (Walia 2010 : 92 pour limiter l'accès de mauvaises herbes aux nutriments) (Liebman & al. 2001 : 223 ; Upadhyaya & al. 2007 : 38-9 ; Chicouene 2016)	ex. en maïs, les frugales sont exclues du rang	favorise des levées de nitrophiles sur le rang
3)couverts pendant toute une interculture (Singh & al. 2006 : 29 ; Chicouene 2016)	limitation de levées ou du développement de plantules héliophiles	obstacle à la lutte mécanique contre des pérennes vigoureuses [ex. : sempervirente en général ; estivales en interculture d'été ; hivernales en interculture d'hiver]
4)faux-semis (Walia 2010 : 93 ; Chicouene 2016)	levées précoces, rapides, préalables à la culture	levées lentes (ex. origine profonde, surtout d'organes végétatifs) sortent plus tôt dans la culture
5)mulch (Muenscher 1936 : 66 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016)	petites plantules	Muenscher 1936 : 66, pour une sp. à repousses végétatives vigoureuses ; Smith & al. 1995 : 419 pour levées de certaines annuelles d'hiver ; laisse les grandes plantules (vigoureuses, traversant facilement le mulch, en particulier issues de gros organes végétatifs dans le sol, difficiles à biner dans le mulch)
6)densité de semis élevée (Robbins & al. 1942 : 129-31 ; Ahlgren & al. 1951 ; Muzik 1970 : 64 ; Altieri & al. 1988 : 205-6 ; Zimdahl 1993 : 119, 381-2 ; Smith & al. 1995 : 447 ; Upadhyaya & al. 2007 : 23-4, 36-8 ; Walia 2010 : 91 ; Chicouene 2016)	augmente la concurrence de la culture vis-à-vis d' <i>sp.</i> sensibles, (héliophiles ?)	(sélectionne des mauvaises herbes plus concurrentielles vis-à-vis de cette culture, éventuellement étiolée)
7)semis sous couvert étouffant (ex. gélif en implantation de fin d'été en climat tempéré) (Chicouene 2016)	plantules héliophiles petites*	empêche la lutte mécanique (ex. pour détruire des organes végétatifs)

8)semis avec désherbage précoce au printemps (ex. en maïs en climat tempéré) (Chicouene 2016)	limite les plantules précoces et leur couvert	facilite les levées retardées de thermophiles (en fin de printemps) en cultures de début de printemps
9)cultures étouffantes ; recouvrement de la culture ou du couvert (Muenscher 1936 : 65 ; etc. in annexe I ; liste de cultures avec cv. diversement compétitifs et mécanismes, in Smith & al. 1995 : 285-96 ; Jabran & Chauhan 2018 : 82-88, 103-105) (Chicouene 2016)	plantules héliophiles petites*	efficacité parfois nulle contre plantules sciaphiles (dont des grimpantes hautes si culture haute) (<i>Galium aparine</i> in Drew & al. 2009)
10)sarclées traditionnelles (tout en lutte mécanique dans la culture) (Brenchley 1920 : 49 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016)	(valable surtout pour diaspores à vie courte dans le cadre de la rotation ; Chicouène 2006, 2007a)	peut laisser la place aux stolonifères (en particulier celles enracinées sur le rang au moment du binage) en conditions pédo-climatiques humides
<u>récolte précoce de plusieurs semaines</u> : (Chicouene 2016)	anticiper le développement tardif d'individus très nuisibles	-
11)moisson : orge d'hiver vs. triticale tardif (anticiper le choix de la culture (espèce, précocité du cv.) pour pouvoir atteindre une maturité suffisante)	anticipe le recouvrement de la culture par pousses estivales	peut favoriser la reproduction dans les éteules si pas de déchaumage ou d'implantation de nouvelle culture
12)ensilage vs. moisson de céréales	(Cussans & al. 1976 : 128) ; empêcher la formation d'un stock de diaspores de : -nombreuses mauvaises herbes (surtout les hautes lors de la coupe) à maturité estivale -dont mimantes	peut favoriser la reproduction dans les éteules si pas de déchaumage ou d'implantation de nouvelle culture, en particulier des stolonifères passant sous la faucheuse
13)pommes de terre (anticiper le choix de précocité de récolte (culture à cycle court, récoltée avant maturité de la peau = en "nouvelles", non conservées)	-anticipe des dégâts de rhizomes de chiendents (diverses espèces) sur tubercules ; -anticipe l'envahissement aérien perturbant la récolte [ex. lianes herbacées risquant de provoquer des bourrages d'axes rotatifs d'arracheuses]	libère le sol tôt d'où risque de continuation du cycle de mauvaises herbes non gênées par la culture

* cibles communes à 2 pratiques dans le tableau.

Tableau 5 : Pratiques culturales à couples d'états-effets extrêmes (inversés du point de vue de la malherbologie).

descripteur cultural, pratiques	avantages, cibles	inconvéniens, limites
1) <u>date de semis en climat saisonnier</u> : (Ahlgren & al. 1951 : 163-4 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016 ; etc.)		
1a) semis anticipé (surtout culture différente ou pénalisée en fin de cycle)	le couvert défavorise les <i>sp.</i> à levées tardives (héliophiles...) défavorisée par le couvert ou par le délai par rapport à la perturbation du sol ; ex. en culture d'automne avec <i>Avena fatua</i> (Cussans & al. 1976 : 138), avec <i>Veronica hederifolia</i> (Lee and Thierfelder, 2017)	favorise des <i>sp.</i> à levée précoce (simultanée à celle de la culture) ou à développement végétatif conséquent en même temps que le début de celui de la culture ; ex. en culture de printemps avec <i>Avena fatua</i> (Cussans & al. : 133)
1b) semis retardé (culture différente ou pénalisée par un cycle plus court ou exposé à des conditions stressantes)	éviter des <i>sp.</i> à levée uniquement précoce, ou restant chétif si la levée est tardive ; ex. en culture de printemps : <i>Avena fatua</i> (Cussans & al. 1976 : 133)	-favorise les <i>sp.</i> à levées tardives héliophiles, [ex. -en culture d'automne, levées hivernales) -en culture de début de printemps, des thermophiles (levées de fin de printemps)
2) <u>hauteur de culture</u> : (Smith & al. 1995, tall cultivars of small grain, tall crops : 81, 83, 286 ; etc. in annexe I ; Drew & al. 2009 ; Chicouene 2016)		
2a)-culture haute (ex. seigle, colza, blé noir, chanvre)	étouffe plus ou moins les naines héliophiles	favorise les grimpantes hautes
2b)-culture basse (orge de printemps, betterave)	-défavorise les grimpantes hautes - et cf. tableau I.4	favorise les naines héliophiles
3) <u>date de moisson</u> : (Cussans & al. 1976 : 128 ; etc. in annexe I ; Chicouene 2016 ; Tidemann & al. 2017)		
3a)-moisson ou fauche anticipée de quelques jours	réduit l'apport au sol de diaspores caduques à la pleine maturité de la culture	humidité et contamination du lot récolté par <i>Avena fatua</i> au stade laiteux
3b)-récolte retardée de quelques jours à la moissonneuse	lot récolté plus pur et plus sec car les diaspores visées sont majoritairement tombées au sol	apport au stock du sol des mauvaises herbes visées en colonne précédente
4) <u>hauteur de coupe</u> : (Hakansson 2003 ; Chicouene 2016)		
4a)- coupe haute (moins de paille à passer dans la moissonneuse-batteuse)	limite l'entrée dans la moissonneuse-batteuse (ou blocage de scie) de plantes naines	apport au stock du sol de ce qui est resté sous la coupe ; (Hakansson 2003 : 218)
4b)-coupe rase avec releveurs d'épis (beaucoup de paille encombrant la moissonneuse-batteuse)	peut éviter l'apport de diaspores au sol, juste mûres, surtout : -individus versés de mimantes - naines	augmente la contamination du lot récolté
5) <u>écartement des rangs</u>		

5a)réduit (en riz, soja, blé)	répartition de la culture augmentant son pouvoir étouffant (Chaudary & al. 2011 : 96 ; Walia 2010 : 91 ; Borger & al. 2016 ; Jabran & Chauhan 2018 : 102-103...)	empêche tout binage
5b)augmenté	permet un binage ou traitement localisé	-réduit le pouvoir étouffant de la jeune cultures ; -augmente les levées héliophiles

Tableau 6 : Classification des principaux descripteurs de rotations culturales dans 36 traités de désherbage.

n°	Groupe implicite de descripteurs	Descripteur des cultures en rotation	Citation des pratiques et référence
1.	cultures seulement	taxons cultivés	-species of crops : Bolley 1908, Long & Percival 1910, Pammel 1911, Craft 1975, Klingman & al. 1982, Zimdahl 1993, Aldrich & Kremer 1997, Buhler & al. 1997, Radosevich & al. 1997, Monaco & al. 2002, Naylor & al. 2002, Hakansson 2003, Saraswat & al. 2003, Singh & al. 2006, Gupta 2007, Walia 2010, Subramanian & al. 2011 -family : Jabran & Chauhan 2018 -grass vs. broadleaf crops : Smith & al. 1995
2.1	attribut culturel de valeur	aspect nettoyant explicité	-drop certain crops out of the rotation : Shaw 1892 -clean cultivated : Muenscher 1936 ; cleaning crop : Naylor & al. 2002 -break crops : Gupta 2007 -root crop = clean farm : Long & Percival 1910 ; root cleaning crops : Brenchley 1920
2.2		mixte	-clean cultivated and competitive crops : Robbins & al. 1942
2.3		compétition	-competitive crop : Robbins & al. 1942, Ahlgren & al. 1951, Craft 1975, Klingman & al. 1982, Naylor & al. 2002, Singh & al. 2006 -competitive vs. non competitive crops : Altieri & Liebman 1988 -competitive ability : Pawar 2009 ; variation in competing : Monaco & al. 2002
2.4		mixte	-smother or competing crops : Ahlgren & al. 1951
2.5		densité du couvert	-smother crops : Robbins & al. 1942, Saraswat & al. 2003 -cover crops : Liebman & al. 2001, Naylor & al. 2002 -canopy development : Naylor & al. 2002 -closed and open canopies : Jabran & Chauhan 2018
2b	mixte		-fooling crops vs. cleaning with mechanical : Altieri & Liebman 1988
3.1	recours à d'autres méthodes de lutte	mécanique supposé : sarclée / non sarclée	-row crops : Ahlgren & al. 1951, Singh & al. 2006 -drilled and row crops : Ahlgren & al. 1951 -row crops and small grain : Ahlgren & al. 1951 -row crops vs. broadcast crops : Muzik 1970 -type of implement, tillage operations : Craft 1975 -cultivated crops vs. non cultivated : Anderson 1983 -cultural practices : Smith & al. 1995 ; cultivation practice : Jabran & Chauhan (2018) -fallow intercropping : Naylor & al. 2002 -wide row crop : Gupta 2007
3.1b		mixte	-mechanical vs. chemical : Smith & al. 1995
3.2		chimiques	-with or without herbicides : Liebman & al. 2001 -herbicides : Craft 1975, Klingman & al. 1982, Ross & Lembi 1985, F.A.O. 1986, Zimdahl 1993, Smith & al. 1995, Buhler & al. 1997, Monaco & al. 2002, Naylor & al. 2002, Singh & al. 2006, Walia 2010, Jabran & Chauhan 2018 -graminicides : Altieri & Liebman 1988
4.1	temps	durée de la culture : perenne vs. annuel	-small grain, pasture : Pammel 1911 -grain, clover, grassland for hay and pasture : Muenscher 1936 -grain, competitive crop, hay field or pasture : Ahlgren & al. 1951 -perennial phases : Altieri & Liebman 1988 -perennial forage crops : Liebman & al. 2001 -pastures : Monaco & al. 2002 -frequency grazed or cut forage crop : Gupta 2007 -annual vs. perennial : Jabran & Chauhan 2018
4.2		nombre de jours de végétation	-transplanted rice : Saraswat & al. 2003 -rye cover crop in vegetable cropping : Singh & al. 2006
4.3		calendrier et phénologie générale	-variation in timing of management practices : Liebman & al. 2001 -different growing period : Pawar 2009 -planting and harvest dates : Upadhyaya & al. 2007 -time of cultivation : Klingman & al. 1982 -time planted : Altieri & Liebman 1988 ; planting dates : Monaco & al. 2002 -timing of sowing : Naylor & al. 2002 -different harvesting dates : Altieri & Liebman 1988, Naylor & al. 2002
4.5		saisons (surtout de climat tempéré)	-winter vs. spring crops : Long & Percival 1910, Zimdahl 1993, Singh & al. 2006 -spring vs. fall-planted crops : Muzik 1970 -winter crop : Fryer & Matsunaka 1977 -winter cereal vs. spring : Gwynne & Murray 1985 -spring vs. autumn seeded : F.A.O. 1986 ; autumn vs. spring crops : Jabran & Chauhan 2018 -winter vs. summer crops : Altieri & Liebman 1988 -winter vs. spring sowing : Naylor & al. 2002 -number of summer vs. winter crops : Singh & al. 2006
5.1.	sol	richesse (hors légumineuses)	-variation in fertility : Monaco & al. 2002 -exhausting crops vs. less demanding : Jabran & Chauhan 2018
5.2		légumineuse	-rotation soybeans : Robbins & al. 1942 -alfalfa occasional : Craft 1975, Altieri & Liebman 1988 -legumes : Smith & al. 1995 -leguminous vs. non : Jabran & Chauhan 2018
5.3		autres aspects	-soil conditions : Liebman & al. 2001 -tap rooting vs. fibrous : Jabran & Chauhan 2018
6.1	autres cas	méthodes mixtes	-summer row crop, winter grain crop : Klingman & al. 1982 -control techniques + rotation practices : Zimdahl 1993 -crop management practices : Liebman & al. 2001
6.2		hors classement	-kind of crops : Chaudary & al. 2011 -fallow : Singh & al. 2006, Pawar 2009 -different life cycles : Upadhyaya & al. 2007 -mixed cropping : Subramanian & al. 2011

Tableau 7 : Comparaison générale des problématiques de cibles biologiques de mauvaises herbes par groupes de méthodes culturales.

	A	B	C	D	E	F
	Échelles de raisonnement :	But :	Méthodes-pratiques :	Cibles : nombres, types de descripteurs	Vitesse d'action :	Limites et inconvénients :
1.	1 cycle cultural (incluant mimantes en végétation)	minimiser la nuisibilité dans la récolte à venir	culturales s.s., inclut parfois certaines autres pratiques sélectives (ex. binage)	nombreux (28 cibles dans les tableaux 3-5 = -morphologiques : architecture, hauteur d'organes, etc. -éco-physiologiques -phénologiques	selon la pratique, va du cycle cultural à seulement l'opération de récolte	inconvénients en nombres c. idem cibles et +- opposés à la cible (tableaux IV et V)
2.	prairie temporaire	minimiser la nuisibilité ou le stock	hauteur avant et après une exploitation	peu (in Chicouène 2007b), surtout hauteur de végétation avant et après exploitation	au moins un cycle d'exploitation	sélectivité réduite vis-à-vis de la culture (présente en permanence)
3.	mimantes polluant un lot de semences et son cycle	minimiser les populations de mimantes	" conditions de récolte, tris lots récoltés (de semences)	morphologiques : formes, dimensions, densité des diaspores	instantané	-
4.	succession culturale dans une parcelle : assainissement	minimiser un stock de diaspores pour de futures cultures	c. toutes méthodes	sur les 17 groupes du tableau 6 : 1 descripteur essentiel de cible en fig. 1 (durée des diaspores non renouvelées)	durée de vie des diaspores visées	indépendant de la cible ; recolonisation : -réintroduction -vitesse de progression
5.	succession de pratiques entre 2 cultures	"	désinfection du sol (sans brassage supplémentaire)	1 : profondeur de levée par rapport à la profondeur de désinfection	instantané	" + danger du travail profond du sol
6.	"	"	labour ponctuel (sans brassage supplémentaire)	2 (in Chicouène 2000a) : durée des diaspores + profondeur de levée	"	"

Tableau 8 : Exemples a priori de types d'interférences entre pratiques culturales et d'autres.

	cultural s.s.	rotation
interférence impossible (pratiques incompatibles)	mécanique p.p. (ex. couvert vivant permanent vs. labour à l'implantation de la culture)	mécanique p.p. (ex. couvert vivant permanent vs. déchaumage entre 2 cultures)
que négatif	—	casse la régulation biologique intraparcellaire
tous types (-, 0, +)	biologique + paysage (ouvert favoriserait peut-être parfois l'introduction d'auxiliaires)	paysage (ouvert favorise l'introduction de certaines mauvaises herbes)
sans interférence directe (complémentarité éventuelle par substitution de spectre taxonomique)	chimique (permet éventuellement de contourner des dilemmes de pratiques culturales à 2 états extrêmes par sélectivité taxonomique p.p. commune)	chimique (élargit souvent le spectre taxonomique de l'assainissement)

ANNEXE I : Principales rubriques de luttes culturales dans 42 traités de désherbage.

Legende :

- souligné = explicitation de "cultural" ;
- en rouge = "rotations", avec leurs descripteurs.
- surligné en jaune : les termes de stratégies
- "sp." (pour rotation) = simple signalement de différentes espèces cultivées
- "W" = weed
- "M" = management

Shaw 1892 (no bibliography) :

Principles in **destroying** weeds 5-9 : drop certain crops out of the **rotation** ; eradication / soil and climate ; purchasing seeds (in the seeds of clovers, grasses, cereal grains) ; clean machines ; hoed crops as far as practicable ; grow clover and lucerne (smothering) ; keep the land growing crops (ex. 2 crops a year) ; autumn cultivation ; fermentation of the manure.

Shaw 1893 (no bibliography) :

Evils : labor for cleaning grain 9-11 ; interfere with a regular rotation 12 ; responsible of the bare fallow 13.

Methods of **destruction** : modify the **rotation** 62-63 ; clean seed 65-67 ; clean machines 67-68 ; hoed crops 69-71 ; grow clover and lucerne 71-73 ; soiling crops 73-75 ; land constantly at work 78-79 ; produce plentifully 79-81 ; autumn cultivation 81-82.

Bolley 1908 (no bibliography) :

Seed inspection laws 533-535.

Methods of holding weeds in **control** : following 535 ; **crop rotation (sp.)** 538 ; pasturing 538 ; smothering 538-539 ; composting 539-540...

Long & Percival 1910 :

How weeds spread : agricultural seeds 20-21.

General **preventive** and remedial measures : prevention (dense crop 30 ; clean seed 31-2 ; **rotation of crops (sp., winter vs. spring, root crop = clean farm)** 32-3) ; **remedy** (following 34-36 ; mowing 36 ; irrigation 39-40 ; manuring -nitrogenous-, liming 41-2).

Pammel 1911 :

Interest in good seed... 27-49.

Extermination : **rotation of crops (sp., small grain, pasture)** 88-9 ; summer fallow 93-94 ; fungi destructive of weeds 193.

Brenchley 1920 :

Prevention and eradication : **prevention** (legislation agricultural seeds, neighbour farmer, clean seed, clean farm machinery, seed formation) 43-45 ; **eradication** by methods of cultivation (**roots cleaning crops**, smother -lucerne, clover...-, following) 46-52 ; lime 68.

Association with crops : among one crop as another, associated vs. discouraged / root crops, temporary grass or clover, seeds crops, cereal... 162-173.

Muenschler 1936 :

Dissemination and importance : impurities in agricultural seeds 18 ;

Control : **Preventing** spread into new area (clean seed, machinery) 54-5. **Destroying** the tops : grazing, mowing 59 -60 ; burning 60. Destroying the underground parts : summer fallow 63-64 ; **rotation (clean cultivated, grain, clover, grassland for hay or pasture)** 64-65 ; drainage 65 ; smother crops 65 ; mulch 66-67.

Robbins & al. 1942 :

Dissemination : cleaning seeds 27.

Preventing introduction : clean harvester and other implements 63 ; clean seeds 64-65. ; Principles of **control** : mechanical methods, hand 84-5 ; flooding 87 ; burning 92 ; mulch 94. **Cropping methods** : **rotation (smother crops)** 96.

Competition : crop (sp., cv.) 124 ; water (irrigated, drainage) 127 ; soil fertility (nitrogenous

fertilizers) 127 ; liming 128 ; date and rate of seeding 129-131 ; **rotation (competitive crop)** 131-132 ; smother crops 132.

In small grain : cropping methods (**rotation clean-cultivated and competitive crops**) 415 ; in rice (cropping methods : **rotation -soybeans-**) 418.

Bates 1948 :

Control at source : seed cleaning 33-35.

Control by cultivation : row-crop cleaning 47 ; summer fallowing 51-52 ; smother crops 52-53 ; mechanical action of livestock 54-56.

Ahlgren & al. 1951 :

Control practices : cultural control (**crop rotations**, smother or competing crops, fallowing, mowing, grazing, composting) 2-4. Influence of ecology : competitive crops, sow... season, dense stand, spacing of seeds, cultivating before emergence / potatoes, tall growing crops, wet vs. dry soil : 6-9 .

Principles of control and eradication : control, **prevention** and eradication 15-16 ; cheap crop seeds, machinery... 16-18 ; burning, storage in manure 19-21 ; burning 29 ; competition crops, smothering, (mulching) 29-30 ; **rotations (row crops, grain crops, competitive crop, hay field or pasture)** 30.

Small grain : clean seed 126-127 ; **crop rotation (drilled and row crops, competitive)** 127 ; competition 127-128.

Legumes : clean seed 159-152, date of seeding 163-164 ; **rotation (row crops and small grain, competitive)** 162 ; competition, mowing 164-165.

King 1966 :

Non-chemical methods : flooding (in paddy rice, control of perennial in other crop-land) 408 ; fire 408-9 ; clean crop seed 409 ; grazing of animals (mammals, fish) 417 ; competitive cropping (companion crop) 418-9.

Muzik 1970 :

Weed establishment : competitive ability (cv. 63 ; fertility 64 ; date and rate of seeding 64 ; **crop rotation (row crops vs. broadcast crops, spring vs. fall-planted crops)** 64-5 ; stale seedbed : 65).

Physical methods : mowing 71 ; flooding 71 ; fire 72-3 ; mulching 73-4 ; competition (tall growing crops) 74-5 ; nurse crops 75 ; timing of operations 76.

Craft 1975 :

Reproduction and spread : man (seed) 25-26.

Preventive W control : clean seed 57 ; **crop rotation (sp.)** 58 ; weed free seed 59-60 ; machinery 60-61 ; livestock management 61-63 ; manure 63.

Ecology of weeds : weeds and soils 70-72 ; competition (earlier wheat sown / quackgrass, moisture) 74-76 ; vigorous stands of crop plants (cultivar, water, fertility, date and rate of seeding, **crop rotation (sp., type of implements, alfalfa occasional, competitive crops, tillage operations, herbicides)** 87-91.

Principles of W **control** : control vs. eradication 102 ; mechanical methods (mowing 119 ; flooding 113-114 ; burning 115-116 ; smothering with non living materials 118-119) ; cropping and competition methods 119-120.

Fryer & Matsunaka 1977 :

Damage : yield components of rice (/ sp. overtops rice vs. sp. only on the lower layer with higher nitrogen concentration) 4-5 ; fertilizer management / rice (contrary effects high nitrogen / sp) 8-10 ; improving cultural methods (planting time, spacing, fertilizer management, optimum time of control) 11.

IWC in rice : preventive measure (clean crop seeds, manure, cleanliness of equipment, water 23 ; soil preparation 23-24 ; water management (ex. flooding govern barnyardgrass, drainage) 24-25 ; **crop rotation (winter crop / perennial weeds,...)** 25 ; phosphate and nitrogen stimulate weeds (barnyardgrass,...) 29 ; dense planting preventing emergence + animal-power harrowing) 29 ; transplanted vs. direct seeded 33-34 ; IWM (combination + interrelation of cultural and chemical) 38-41.

Klingman & Ashton 1982 :

Prevention, control and eradication : crop seeds, machinery 12-13.

Methods of **control** : mowing 21 ; crop competition 23-25 ; **rotation (summer row crop, winter grain crop, competitive crop, herbicide rotation) 25.**

Small grains : clean seed 297 ; **rotation (be grown for several years, herbicides rotation, sp., time of cultivation...)** 297 ; competition (fast-growing grains, fertility... 298.

Small-seeded legumes (alfalfa...) : clean seed 309-310 ; date of seeding 310 ; mowing 311 ; competition (water, fertilization) 311.

Stephen 1982 :

Control without herbicides : flooding 66 ; burning 66-67 ; mulching 68-69.

Anderson 1983 :

Control : **preventive** (weed-free crop seed) 67 ; **cultural** (smother crops, **rotation (cultivated crops vs. non cultivated)** 71 ; mowing 72 ; water management (flooding) 72-73 ; smothering with nonliving material 73 ; burning 75.

Gwynne & Murray 1985 :

Weed origins : rotations 18 ; seed cleaning 21-22.

Control methods : non chemical 40-41.

Wild oats : straw burning 108, **crop rotation (winter cereal vs. spring)** 108-109.

Other weeds : non chemical (seed-rate, fertilizer, cv., drainage) 117 ; **cultural** 126-127.

Ross & Lembi 1985 :

Control : mechanical (mowing 31-3 ; mulches 33-4 ; flooding 34 ; fire 34-5) ; crop competition (smother crops, competitive crops, **crop rotation (e.g. herbicides)** 35-39.

FAO 1986 (no bibliography) :

Control : mulching : 24 ; **cultural control** : crop interference (competitive crop, multiple cropping) 25, fertilizer placement 25, timing plantation, liming 25, **rotation (spring / autumn seeded, different herbicides)** 25-26.

In crops : **cultural practices** (planting date, seed source clean vs. contaminated, fertilization, pasture following harvest, fallow...) 128 ; **cropping patterns** (crop, spacing and density, **rotation...**) 128-129.

Altieri & Liebman 1988 :

Factors weed-crop balance : intercropping : 162-4 ; cv. effect (potatoes...) 170-2.

Intercropping : crop density 205-6 ; spatial arrangement 206 ; crop species and cv. 206-7 ; soil fertility 207.

Management systems : dispersal of seeds (contamination of crop seeds 216-7 ; harvesting equipment 217-8) ; edaphic factors (soil pH and drainage, irrigation 218-9 ; soil fertility (*azote augmente MH et baisse crops ; K augmente Striga / maïs*) 219) ; **cultural practices (rotation (different harvesting dates, fooling crops vs. cleaning with mechanical, time planted, graminicides)** 220-1 ; spatial arrangement (row widths) 221-2 ; straw dispersal + burning 223-4).

Management of pathogens and insects for weed control : 245-264.

Organic systems : timing of field operations 307-8 ; seeding rate & cv. (soybean) 308-9 ; **cropping systems** (intercropping, **rotation (competitive vs. non competitive corps, perennial phases, alfalfa, winter vs. summer crops)**, cover crop, undersowing, summer fallow 309 ; graze weeds 309 ; mulching 309-10 ; composting 310-1 ; fertility 311-4.

Zimdahl 1993 :

Seed dispersal : storage manure 72-74 ; machinery (clean seed, combines,...) 74-76.

Environmental : edaphic factors (weeds / low in fertility vs. well fertilized, flooding, pH) 97-98. biota (**cultural operation** and **rotational practices / crop, harvest practices**) 98-101.

Plant competition : fertilization (nitrogen and wild oats) 114-6 ; light (crop density) 119-120.

Allelopathy and interference : mass of plant residue and **rotation** 143-144 ; weed management (allelopathic activity in crop plants, high density, plant residues, allelopathic **rotational**,

companion plants) 143-145.

Weed management : prevention, **control**, eradication 160 ; **prevention** (clean seed, farm equipment...) 161-166 ; tillage timing 173-5 ; mowing 176 ; flooding, draining... 176-7 ; solarization 178-179 ; mulching 179. Cultural (crop competition 180-1 ; companion crop 182-3 ; crop **rotation (sp., herbicide, control techniques)** 183-5 ; fertility manipulation 185-6.

Management systems : small grain crops (prevention (seed weed free, machinery) ; cultural (seeding rate, time, tall wheat cv., **rotation -sp., winter vs. spring**)) 380-383 ; corn and row crops (cultural (rotation -sp.-)) 388 ; perennial, alfalfa (prevention, cultural (planting time, grazing, planting with nurse or cover crop) 394-5.

Labrada & al. (F.A.O.) 1994 :

Cultural practices : (**prevention**, crop interference, time of planting, soil amendments, water, **rotation**, fire, mulching) 161-170

Smith & al. 1995 :

Preventive : farm management practices (clean crop seed, smother crops, **crop rotation (cultural practices, previous crop, grass vs. broadleaf crops, legumes, herbicides, mechanical vs. chemical)** 36-39 ; clean farm equipment 40 ; management of animals and manure 40-43 ; irrigation waters... 43-44.

Integration of mechanical with other management methods : **preventive introduction** into a field 79-80 ; cultural (planting date, seedling rate, competitive crop, tall crops, tall cultivars of small grain, fertility, cover crops, smother crops) 80-84.

Biological management 283-303 : crop competition, choice of crops, cultivars, multiple cropping, allelopathy, cover crops and their residues, grazing.

Oil seed crops : weed interference and competition (row width) 344-346 ; management strategies (**crop and herbicide rotation -sp.-**) 350.

Grain crops : non chemical methods (competitive varieties / wheat, shoot density, planting at optimum dates,...) : 411, 429-431, 435-436, 438-439, 446-448.

Aldrich & Kremer 1997 :

Competitiveness, crop-weed 27-28.

Production practices affect weeds : weed introduction (infested crop seed, machinery...) 364-365 ; effect of crop production practices on weed changes (cropping practices : cv., previous crop, **rotation (sp.)**, crop density, pattern and spacing, soil fertility, timing fertilizer application...) 369-376 ; combined effects of cropping, tillage, and herbicides 383.

Weed management system : **prevention** (reducing propagules) 388, 400-404 ; **rotation (sp.)** 419-422.

Buhler & al. 1997 :

Increasing crop competitiveness / breeding : (crop tolerance and crop interference ; selection criteria, critical events in crop and weed life cycles, plant residues) 59-76.

Genetic of cover crops : components of interference, characteristics amenable 77-93.

Soil quality : interspecific interference (species specific), fertility management, cover cropping and green manuring 95-121.

Soil seed banks : **prevention of seed introduction** on farm (crop seed, manure...) 150 ; decision about seed levels (eradicate, decrease, tolerate) 151-152 ; strategy seed populations (active to dormant, dormant to active, undesirable to desirable species 152-154.

Multiyear model / crop and tillage conditions (**rotation sp., herbicides**) 207-224.

Levels of integration / weed management : scale (spatial, temporal), method, knowledge base, crop rotation, herbicides... 239-267.

Radosevich & al. 1997 :

Methods and tools of w management 335-395 : **prevention** (inhibit establishment in areas : cultural (seed cleaning)), eradication from field-area, **control**, reduce W 335-336, methods ; physical 347-377 (hand, fire, flame, tillage, mowing, flooding, mulches, solarization), cultural 377-378 (**prevention** (crop seed, manure, harvesters...), **crop rotation** 378-379 (different crops from year to year, certain sp. associated with particular crops, solid-seeded crop like alfalfa or cereals to a row crop like..., different cultural techniques, crop production vs. fallow), crop

competition 379-381, cover crops 381, harvesting 381), biological 382-387 (grazing, mycoherbicides, allelopathy – smother crops).

Liebman & al. 2001 :

5) Soil environment 210-268 : ... fertility 220-229 when W exhibit stronger height and leaf area responses to fertilizer than do crops : fertilizer = negative effect, placement of fertilizer reduce W density 223.

6) Competitive ability of crops 269-321 : crop density 270-281 (curves), spatial arrangement 281-287, crop genotype 287-297 (breeding for competitive ability : selection characters correlated with competitive ability is more efficient than selection on competitive ability), phenology 297-304.

7) Crop diversification 322-374 ; crop diversity, rotation 326-336 (crop management practices, with or without herbicides, perennial forage crops (*Elytrigia repens* : density should be reduced during annual crops phases 335), cover crops ; variation in timing of M practices, in soil conditions).

8) Insects and pathogens : pesticides detrimental / biocontrol agents 379.

9) Livestock grazing 409-443.

Monaco & al. 2002 :

3) IWM : management practices 45 ; scouting 45-46 ; prevention 46 (crop seed contaminated, propagules with machinery, manure..., recharge the soil seed bank, areas adjacent to fields, spread of vegetatively reproducing perennial) ; mechanical practices (... mowing 52, mulches 53-56, burning 56, flooding 56-57) ; cultural practices 57-64 (crop selection 57-59), crop rotation 59-60 (sp. ; pastures often contain perennial W such as iron-weed and thistles), changes cultural conditions (planting dates, competing, fertility, herbicides) ; crop varieties 60-61 ; planting date 61 ; plant population and spacing 63, fertility and irrigation 63-64 (W respond + to increasing nutrient level : better compete with crop).

Naylor & al. 2002 :

Non-chemical management : cultural (crop rotation -cleaning crop, competitive ley, fallow, intercropping, cover-crop-, choice of cultivar, plant spacing, limiting the introduction -farm machinery, crop seed-,...) 280-286 ; direct management (steaming, solarization, mulching, living mulches, sheeden mulches,...) 286-294.

Integrated management : crop rotations (timing of sowing, canopy development, harvesting), choice of variety, seed purity,... crop nutrition strategy 307-308.

Winter cereals : rotation (winter vs. spring sowing, sp., herbicides), sowing date (early vs. late sowing), crop competition... 355-356...

Hakansson 2003 :

8) Plant adaptation and competitive conditions : W flora / fertilizer use 119-121 : [sp.] many observations : W declined respond positively to fertilizer in absence of competition from crops but negatively in dense crop stands ; some W (*Chenopodium album*) obviously often more favoured by high fertilizer levels than the crops ; competitive conditions in different crops 121-123.

12) Special management measures 214-221. Cover crops (breakage by mechanical + herbicides) and mulches (mulch large : small and large-seeded W different influenced ; seedlings from small seeds have greater difficulties in penetrating). Harvesting – timing and methods 217-218 : variation = diversified crop sequences ; later harvesting = stronger selection between early and late maturing seeds ; tall stubble = more W seeds left in the field + *Elymus repens* younger, more active shoots largely escape cutting ; roots crops : breakage of vegetative parts of perennial W, time of year is decisive. Breeding for increased competitive ability of crops 218-219 : crops exerts a stronger competitive effect as a result of more rapid ground cover ; degree of cv. shaded the W in decisive growth period ; selectively acting substances. Biological control 219-221 : augmentation strategies, system management.

Saraswat & al. 2003 :

Factors / crop-weed competition : moisture, nutrients 39-41 ; effect of weed and crop density ; weed sp. ; crop sp. ; fertility ; crop sequences, rotating crops (sp.) 44-48.

Agronomic practices : planting or sowing time, clean seed, stale seed bed, row spacing, seed rate, **crop rotations (sp., smothering, transplanted rice)**, intercropping, mulching, water, nutrient 75-86.

In cereals : rice, cultural (stale seed bed, flooding) 184-185 ; maize, cultural (**crop rotation**, higher plant population, early application of nitrogen and its placement, mulching, intercropping with smoother crops) 186 ; wheat, cultural (stale seed bed, higher seed rates, closer spacing, rotations) 191 ; ...

In cash crops : cotton : agronomic practices (unlike cereals, early planted...) 199-200...

Singh & al. 2006 :

Weed management : cultural methods (competitive crops 5 ; **crop rotation**, use of cover, smother crops, genotypes better competitive and allelopathic, sowing and planting dates, crop density 6) ; cultural advantages/disadvantages : fig.1.1 18.

Cover crops (evidence, mechanisms) 63-78...

Rye as a weed management tool in vegetable cropping systems 131-66

Rotation in semiarid (sp., numbers of annual summer vs. winter crops, row, herbicides, fallow 167-188.

Crop rotation in the Canadian Prairies (spring wheat vs. fallow, winter, herbicides, forage and cover crops...) 189-220.

Strategies / herbicide-resistant weeds : non herbicides strategies (**crop rotation -herbicides, competitive crops and cv., fallow-** 643 ; seeding dates and rates 644 ; tillage 644 ; reducing gene dispersal 644-6).

Integrated turfgrass management : cultural methods (lime+-) 865-6 ; nutrition, irrigation +- 868 ; sunlight reaching the ground 870.

Rammoorthy & al. 2006 :

Tillage and weed **control** : chemical fallow, double crop, sleeping sod (cover crop), sod planting, stale seedbed, stubble-mulch 172-177.

Gupta 2007 :

Prevention and **control** : **prevention** (crop seeds, clean the farm machinery...) ; eradication 70-76.

Cultural methods : good crop husbandry practices ; proper crop stand ; selective crop stimulation (fertilizers in the seed rows ; **crop rotation (break crops, sp., frequently grazed or cut forage crop, wide row crop)** ; summer tillage ; soil solarisation ; mulching ; intercropping 77-82.

Upadhyaya & al. 2007 :

Prevention strategies : crop seeds 3-4 ; machinery 4-7 ; manure 7-10 ; **prevention**, cropping patterns (fertilization, harvest...) 12.

Weed-crop interaction : crop density (equations, processes) 23, 27.

Cultural management : **crop rotation (different life cycles, planting and harvest dates)**, crop competition and species and cv., uniform crop establishment, planting pattern, crop density, delayed seeding, flooding, fertilization, manure, cover crops, crop canopies, crop residues... 35-47.

Cover crops : 49-64.

Non-living mulches (sheeted and particle mulches) 135-153.

Soil solarization (principles, four categories according to the response : susceptible vs. stimulated) 177-200.

Pawar 2009 :

Preventive methods : **crop rotation (different growing period, fallow, competitive ability of crops...)** 38-39 ; cover crops 39-41 ; soil solarisation 46 ; drainage and irrigation 46-47 ; cultural methods (sowing time, crop genotype, cover crop, intercropping, fertilization) 47-50.

Cultural methods : planting density and spacing, mixed crops, timing of seeding and planting, fertilization, liming, manuring, irrigation, drainage, harvesting procedures 161-169.

Walia 2010 :

Ecology and competition : cultural/competition (**crop rotations -sp.-**, adjusting dates of sowing,

quick growing crops/varieties, increasing plant density, intercropping, mulches...) 71-72.

Methods of **control** : preventive methods (clean seeds, manure, clean machinery...) 86-87 ; interculture (in wider row sown crops) 88 ; flooding 88 ; cultural methods (**crop rotation -sp., herbicide-**, date of sowing, plant density, planting pattern/ uniform distribution of crop, placement of fertiliser, quick growing varieties, mulching (wheat straw for maize), irrigation, soil solarization) : 89-93.

Chaudhary & al. 2011 :

Weed management : cultural method : **prevention** (crop seeds, clean machinery, manure, crop management practices -...-) vs. eradication + **control** 14-17 ; cultural (crop competition..., rate of seeding, fertilization, planting time, summer fallowing,... smother cropping, **crop rotation -kind of crops-**) 17-22 ; mechanical/physical (mowing, grazing, burning, flooding, mulching, soil solarization) 22-32.

Management in crops : rice (indirect methods : cultivar selection, cultural practices, fertilizer) 92-93 ; wheat (cultural : closer spacing induced smothering) 96 ; maize (cultural : intercrops, seed rate, placement of fertilizer, straw mulching) 97...

Subramanian & al. 2011 :

Allelopathy (crop residue...) : 100.

Control : **preventive** (infested crop seeds, manure, clean machinery, nursery stock...) 101 ; crop management (crop varieties, placement of fertilizer...) 102 ; weed free crop seeds 102 ; cultural (planting time / seasonal weeds, optimum plant population, **crop rotation -sp.-**, intercrops, mulching, flooding and drainage, crop management practices) 107-110.

In dry lands : **crop rotation (mixed cropping)**, inter crops (smother) 233-234.

Jabran & Chauhan 2018 :

Overview and significance of non-chemical weed **control** (**preventive strategies**, cultural, allelopathy,... : 5 ; integrated weed management). 1-8

Weed control using ground cover systems. 61-72

Weed control through crop plant manipulations (cover plants, intercropping, cash crops, cultivar). 73-96

Agronomic weed control : a trustworthy approach for sustainable weed management (**preventive practices** 98, crop density, row spacing, sowing time, competitive cultivars, **crop rotations (autumn vs. spring, annual vs. perennial, closed and open canopies, herbicides, cultivation practices, tap rooting vs. fibrous, leguminous vs. non, exhausting crops vs. less demanding, family)**, intercropping and cover crops, nitrogen fertilization). 97-115



Daniel Chicouène

Retour page d'accueil 'plantouz' : <<http://dc.plantouz.chez-alice.fr/>>