



Volume II. Chapitre 1

Le choix des cultures, associations et successions adaptées aux contraintes agro-climatiques

Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Krishna NAUDIN,
Célestin RAZANAMPARANY, Narcisse MOUSSA, Roger MICHELLON,
Hasina ANDRIANASOLO, Hubert RAZAFINTSALAMA, Christian RAKOTOARINIVO,
RAKOTONDRAMANANA, Frank ENJALRIC, Lucien SEGUY

Septembre 2009



Centre de
Coopération
Internationale en
Recherche
Agronomique pour
le Développement



TAny sy FAmpanandroasana



Groupement Semis Direct de Madagascar



AGENCE FRANÇAISE
DE DÉVELOPPEMENT



Ministère de l'Agriculture,
de l'Élevage et de la Pêche

Le choix des cultures, associations et successions

Objectifs

1. Objectifs

Pour être en mesure de réaliser un véritable conseil à l'exploitation, dans une approche intégrée au niveau de terroirs villageois, il est nécessaire de maîtriser une gamme de systèmes de culture adaptés aux conditions locales. Il faut pour cela identifier la nature des cultures les plus appropriées et l'ordre de leurs successions et/ou associations, ainsi que les itinéraires techniques à appliquer à ces différentes cultures ou associations de cultures.

Cette gamme de systèmes de culture doit permettre de proposer des systèmes adaptés aux situations des diverses exploitations, et pour cela doit :

- couvrir les principales conditions de sol x régime hydrique rencontrées au niveau de la zone ;
- être suffisamment diversifiée pour offrir un large choix en matière de cultures principales dans les systèmes, niveaux d'intensification, moyens nécessaires, prise de risque, intégration avec l'élevage, etc. Cette large gamme développée au niveau d'une zone permet par la suite de sélectionner au niveau d'une parcelle les systèmes les plus adaptés aux conditions locales des terroirs, et aux caractéristiques des exploitations ;
- ne pas être trop vaste pour être "gérable" et facilement assimilable par les cadres, techniciens et paysans. Pour cela, les systèmes sont basés en priorité sur les cultures principales de la zone, et offrent des solutions diversifiées aux grandes contraintes agronomiques et socio-économiques locales.

Cette gamme de systèmes à développer est donc fonction des contraintes principales au niveau d'une zone d'intervention et se "décline" suivant les différents types de milieux rencontrés. Un diagnostic initial et en particulier la définition "d'unités agronomiques" est donc indispensable pour intégrer ces paramètres dans la conception des systèmes.

2. L'identification d'unités agronomiques



Savoir reconnaître les différentes unités de paysages et connaître les régimes hydriques

Pour permettre de concevoir (et de présenter aux paysans) des systèmes SCV adaptés aux conditions locales (jusqu'au niveau parcellaire), il est indispensable de distinguer, sur la base de critères facilement identifiables, les différentes unités agronomiques rencontrées au niveau d'une zone et de les reconnaître rapidement sur le terrain. Ces unités se définissent par l'homogénéité de leurs caractéristiques agronomiques : position sur la toposéquence, fertilité et niveau de compaction du sol, régime hydrique. Le potentiel et les contraintes agronomiques au sein d'une unité expliquent en grande partie les systèmes existants, et déterminent les systèmes SCV qu'il est possible d'y proposer. Il est donc indispensable pour définir ces unités de bien prendre en compte les critères qui vont faire qu'un système SCV est possible ou non.

Une première grande distinction fondamentale à faire est celle entre :

- *tanety* (et colluvions de bas de pente) ; et
- plaines, vallées ou bas-fonds.

Le régime hydrique y est fondamentalement différent et a donc un impact fort sur les possibilités de systèmes (possibilités d'installer des plantes en contre-saison en particulier).

2.1. Les critères discriminants sur *tanety*

Sur *tanety*, on peut alors distinguer (le cas échéant) les *tanety* en culture pluviale pure, de celles aménagées en terrasses (qui peuvent disposer ou non d'irrigation, plus ou moins contrôlée).

Tanety : colline (terme malgache)

Le choix des cultures, associations et successions

Les unités
agronomiques

Les critères principaux à prendre en compte sont alors la compaction du sol et sa fertilité initiale, qui déterminent les cultures possibles en saison et les niveaux d'intrants nécessaires. On peut évaluer ce niveau de fertilité et la compaction en se basant sur la flore naturelle et l'état des cultures en place.

On s'intéresse ensuite aux possibilités de culture en contre-saison. Par cela, on entend la possibilité d'obtenir une production de biomasse importante en dehors de la période de culture principale. Il ne s'agit donc pas forcément de la possibilité de faire une deuxième culture, mais aussi de la possibilité d'installer une plante de couverture qui peut être mise en place dans la culture, pour qu'elle s'implante bien avant l'arrivée de la saison sèche et/ou froide.

Sur *tanety*, ces possibilités sont très faibles dans les milieux avec longue saison sèche (Sud-Ouest, Moyen-Ouest, Lac Alaotra). Elles sont beaucoup plus nombreuses sur les hautes terres (sur sols non compactés) et surtout dans un climat tropical humide toute l'année (Sud-Est).

Enfin, le cas échéant, on doit s'intéresser à une contrainte agronomique particulière mais très forte (souvent la plus limitante), comme la pression exercée par le striga sur les céréales dans le Moyen-Ouest malgache.



*Forte infestation et dégâts de Striga asiatica sur riz pluvial
Moyen Ouest*

2.2. Les critères discriminants dans les plaines, vallées et bas-fonds

Dans ces milieux qui sont tous moyennement riches à riches, le niveau de fertilité du sol est peu discriminant. Le principal facteur à prendre en compte est le régime hydrique, avec 3 paramètres :

- les risques de submersion, qui déterminent si l'on peut cultiver une culture autre que le riz en saison des pluies. On distingue donc les sols exondés ou drainables, sur lesquels l'inondation est rare ou très temporaire et où on peut donc faire une culture comme le maïs, des sols inondés plus de 5 jours consécutifs sans drainage possible, où seul le riz est possible en saison ;
- l'accès à l'irrigation. On considère ici l'accès à l'irrigation en saison principale (et pas forcément en contre-saison) qui permet de sécuriser une culture de riz. On distinguera donc les parcelles sans irrigation, celles avec irrigation aléatoire (rizières à mauvaise maîtrise de l'eau, dans laquelle l'eau peut être apportée à un moment du cycle, mais de manière incertaine) et celles avec irrigation contrôlée dans lesquelles on peut apporter de l'eau quand on le souhaite durant la saison des pluies ;
- les possibilités de culture en contre-saison. Là encore, on entend par contre-saison la possibilité de produire une forte biomasse en dehors de la saison de culture principale. Ces possibilités sont liées au climat d'une part, mais aussi :
 - au type de sol : des sols très argileux ou, au contraire, la présence d'un horizon sableux (qui crée une rupture capillaire) empêchent les remontées d'eau ;
 - à la position sur la toposéquence : profondeur de la nappe en saison sèche, possibilité de drainage au moment où il faudrait planter la plante de couverture, etc. ;
 - aux possibilités d'irrigation en contre-saison (rares à Madagascar).

Ces différents critères permettent de discriminer des unités agronomiques pour lesquelles on peut alors concevoir une gamme de systèmes SCV différenciés.

Un dernier facteur concernant le régime hydrique est la durée pendant laquelle une rizière peut être maintenue en eau, qui détermine la possibilité de faire de la monoculture de riz (on peut estimer qu'avec plus de 45 jours/an de submersion, la monoculture de riz chaque année, sans culture de contre-saison est possible).

Le choix des cultures, associations et successions

3. Le diagnostic initial rapide

La conception et la mise en place de démonstrations de systèmes SCV adaptés localement au niveau des terroirs présupposent une connaissance suffisante du milieu et des pratiques paysannes dans les villages concernés. Un diagnostic initial (cf. Volume VI: "l'approche terroir") est donc indispensable avant toute intervention. Ce diagnostic rapide doit permettre :



*Discussions sur l'utilisation du terroir
Lac Alaotra*

- de se situer aisément dans le paysage, en identifiant les principales unités agronomiques présentes au niveau du terroir ;
- de connaître les pratiques paysannes sur le terroir, en fonction des différentes unités de paysage/agronomiques. Cela est indispensable pour proposer aux paysans des systèmes construits en priorité à partir de leurs systèmes, avec leurs cultures privilégiées ;
- d'identifier les principaux facteurs limitant la production agricole, dans les différentes situations ;
- d'identifier les besoins et les contraintes des paysans ainsi que les opportunités d'amélioration des systèmes et/ou d'utilisation de terres à l'abandon ;
- de comprendre les interactions entre agriculture, élevage et activités extra-agricoles, en particulier la répartition de la

main d'œuvre et des moyens de production (intrants, équipements) entre les différentes activités, à l'échelle des unités de paysage, et les priorités accordées par les paysans en cas de pénurie.

Réalisé au niveau d'une zone d'intervention, ce diagnostic permet de prendre en compte les conditions de milieu et les principales contraintes (agronomiques et socio-économiques) pour développer une large gamme de systèmes aptes à lever les contraintes majeures, à améliorer durablement les productions, et à s'intégrer facilement aux exploitations et terroirs villageois.

En affinant ce diagnostic au niveau d'un terroir villageois, on peut alors "construire" les systèmes les plus adaptés aux conditions locales et choisir un nombre réduit de systèmes, que l'on peut éventuellement mettre en démonstration au niveau du terroir.

Le conseil à l'exploitation demande de compléter le diagnostic à cette échelle, ce qui permet, sur la base des systèmes techniquement réalisables et intéressants au niveau du terroir, de choisir quelques systèmes bien adaptés individuellement à chaque agriculteur.

4. L'identification des systèmes possibles dans une situation donnée

Pour une parcelle donnée et donc une unité agronomique donnée (zone agro-écologique, unité de paysage, type de sol, régime hydrique), les systèmes techniquement possibles dépendent d'un certain nombre de facteurs agronomiques. Il est indispensable de les identifier et de les caractériser lors du diagnostic rapide, avant toute intervention.

4.1. Les facteurs à prendre en compte

L'identification des cultures et des plantes de couverture possibles en année "zéro" de préparation du semis direct se fait sur la base de huit grands facteurs qu'il est nécessaire de prendre en compte :



*Systèmes de culture diversifiés
sur les Hautes terres malgaches*

Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

Le climat

Le climat est le premier facteur à prendre en compte pour identifier les cultures possibles (ce que les agriculteurs ont naturellement fait) et les plantes de couverture utilisables. Ce facteur, difficilement contrôlable (uniquement par irrigation ou culture sous serre, très coûteuses), influence fortement le choix des espèces et des variétés, ainsi que le calage des cycles de culture et les possibilités d'associations ou de successions de cultures. Les deux critères principaux sont bien évidemment les précipitations (quantité totale, répartition, occurrence d'une saison sèche, etc.) et les températures (en particulier les périodes froides et le risque de gel) qui influencent fortement le potentiel de production de biomasse et la vitesse de minéralisation.

Exemples sur l'influence du climat

Sur les Hautes-terres malgaches, les températures relativement basses font que les cycles des cultures sont allongés, et qu'on ne peut pas cultiver des plantes exigeantes en chaleur (qui n'arrivent pas à boucler leur cycle avant l'arrivée de la saison froide). Ainsi, dolique et *Vigna umbellata* se développent très mal en altitude et seules des variétés de niébé à cycle court (comme le "David") peuvent être cultivées, à condition d'être semées tôt.

Dans le Sud-Ouest semi-aride, la courte saison des pluies fait que la culture de maïs ne peut se faire qu'avec des variétés à cycle court (comme CIRAD 412), installées dès les premières pluies.



Le régime hydrique : hydromorphie, engorgement, submersion et possibilités de contre-saison

L'hydromorphie et les risques d'engorgement et/ou de submersion

L'hydromorphie et l'engorgement étant mal supportés par de nombreuses plantes cultivées (les légumineuses en particulier), il est important d'identifier le risque encouru au niveau d'une parcelle, en particulier dans les positions basses et dans les climats humides. Les risques d'engorgement ou de submersion à des périodes données vont déterminer les cultures possibles (espèces et variétés), mais aussi les périodes de culture (et donc le calage des cycles) et les itinéraires techniques (comme la réalisation d'un drain). Quand il existe un risque de submersion supérieur à 5 jours consécutifs, sans drainage possible, seul le riz peut être cultivé en saison.

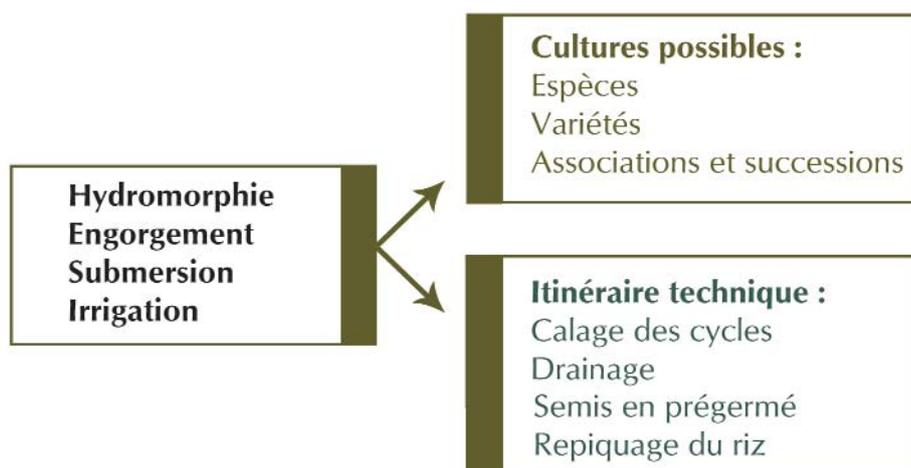
L'irrigation

À l'inverse, l'irrigation rend possibles certaines cultures et donne de la souplesse pour le calage des cycles.

Exemples sur l'hydromorphie

La plupart des plantes, et en particulier les légumineuses, supportent mal l'hydromorphie ou l'engorgement, et encore moins la submersion. Parmi les légumineuses à graines, le niébé est celle qui supporte le moins mal l'excès d'eau. Pour une couverture végétale, les légumineuses des genres *Sesbania* et *Aeschynomene* sont très bien adaptées à l'hydromorphie. L'espèce *Stylosanthes guianensis* la tolère bien et même la submersion (sauf sur des plants très jeunes).

Parmi les céréales, le riz supporte très bien l'excès d'eau, à l'inverse du maïs ou encore de l'avoine ou du blé. Les graminées fourragères très bien adaptées aux milieux hydromorphes sont le *Brachiaria humidicola* et *B. mutica*.



Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

Nappe phréatique et possibilités de contre-saison

Les possibilités d'accès rapide par les racines à la nappe phréatique déterminent largement les possibilités de culture en contre-saison. La profondeur de la nappe et sa vitesse de descente permettent ou non la connexion du système racinaire avec cette nappe, et donc la

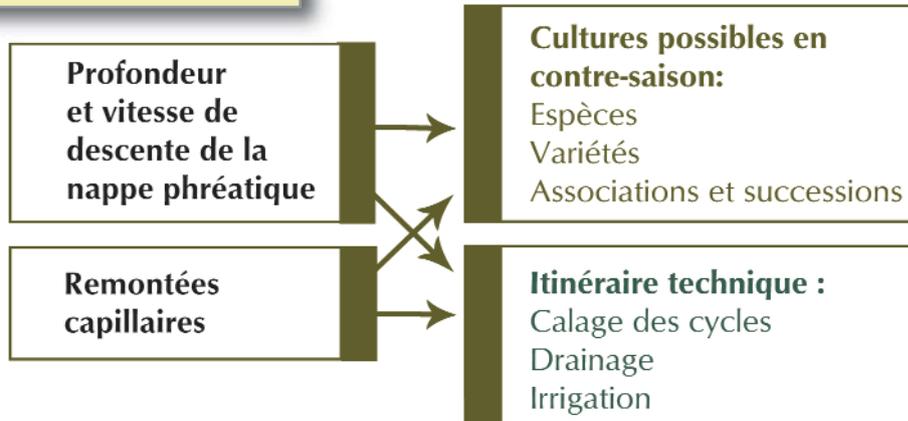
Exemples sur la contre-saison

Sur les *baiboho* (dépôts alluviaux) du Lac Alaotra, la nappe phréatique descend lentement en saison sèche, et reste suffisamment proche pour que le système racinaire de plantes cultivées en contre-saison puisse s'y connecter facilement. Les cultures de contre-saison y sont relativement aisées. Il existe cependant des *baiboho* avec des lentilles de sable qui créent une rupture des remontées capillaires et qui ne permettent pas, ou très difficilement de conduire une culture de contre-saison.

Dans les rizières des hautes terres, la nappe phréatique est en général peu profonde et permet une culture de contre-saison. Cependant, l'installation d'une plante comme la vesce, qui ne supporte pas l'engorgement et qui doit être semée suffisamment tôt pour s'implanter avant l'arrivée des jours froids, peut être problématique dans les parcelles qui ne sont pas drainables.

croissance de plantes en saison sèche. Toutes les plantes n'ont pas la même aptitude à accompagner la nappe dans sa descente et à produire en contre-saison. Des plantes comme la dolique ou le sorgho ont un système racinaire capable de se développer rapidement (jusqu'à 3 cm par jour pour le sorgho) pour suivre la descente de la nappe, et qui peut descendre en profondeur (jusqu'à 3 m). Elles permettent d'obtenir une forte production de biomasse en utilisant l'eau "résiduelle", et sont donc d'excellentes plantes de couverture pour la production en SCV dans des milieux avec longue saison sèche.

A l'inverse, dans les zones basses, les plantes peuvent souffrir d'un excès d'eau en fin de saison des pluies, quand il faudrait installer les cultures de contre-saison. Cela conduit à un raccourcissement de la période de production de biomasse (ce qui baisse les performances des systèmes) et peut rendre très difficile la mise en place de certains systèmes, en particulier en altitude où la saison froide ralentit la croissance des plantes, et où le gel peut tuer des jeunes plantes encore peu résistantes.



Avoine sur tanety en contre-saison Hautes terres



Dolique connectée à la nappe phréatique dans la plaine. Lac ALAotra



Vesce en contre-saison dans les rizières Hautes terres

Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

La compaction du sol en profondeur et la battance

L'état de compaction ou d'induration du sol a des conséquences sur les cultures possibles avec deux principales situations limitantes :

Existence d'une semelle de labour ou d'un horizon compacté en profondeur

Avant toute intervention, il est indispensable de s'assurer que des horizons compactés ne soient pas présents en profondeur. En particulier, sur des parcelles labourées régulièrement, une semelle de labour se développe fréquemment à 10-20 cm, profondeur répétée du travail du sol. Cet horizon, parce qu'il est un obstacle à la pénétration des racines en profondeur doit être identifié, surtout pour les cultures pluviales sur *tanety* pour lesquelles la profondeur d'enracinement détermine la réserve en eau utile.

Dans le cas d'une semelle de labour ou d'horizons compactés en profondeur, qui ne peuvent pas être éliminés par un travail du sol (ou qui pourraient être levées par un sous-solage, mais à un coût prohibitif et inaccessible à Madagascar), seules des plantes avec un système racinaire puissant ou au contraire se satisfaisant d'un enracinement superficiel sont à proposer aux agriculteurs. Des cultures comme le riz pluvial, qui ont besoin d'une forte macroporosité du sol et ont un système racinaire peu puissant, ne doivent pas être installées avant que l'horizon compacté ait été restructuré.

L'évaluation du degré de compaction d'un sol est donc une étape fondamentale dans le processus de décision sur le choix des cultures.

La compaction du sol

Le niveau de compaction du sol influence très fortement les cultures et les systèmes possibles lorsque l'on veut installer des systèmes en SCV. Il est donc indispensable de l'évaluer avant toute intervention. On dispose pour cela d'indicateurs simples comme la flore naturelle. Les sidas, *Urena lobata*, *Cassia tora*, ou l'*Aristida* épars, sont révélateurs d'un fort risque que le sol soit compacté, alors qu'à l'inverse *Cynodon dactylon* ou *Hypparhenia sp.*, bien développés, sont des indicateurs de bonne porosité.

Toutefois, la réalisation de profils de sols est fortement recommandée car elle apporte des informations intéressantes sur les niveaux de compaction et sur la descente des racines (que ce soit de la végétation naturelle ou des plantes cultivées).

La réalisation de profils permet d'évaluer la compaction par le son produit par les différents horizons lorsqu'ils sont frappés (avec un manche de couteau par exemple) : plus le son émis est aigu, plus l'horizon en question est compacté. Ainsi, tapoter les différents horizons et écouter les variations de sons permet de se rendre compte des niveaux de compaction relatifs des différents horizons, et d'identifier des couches compactées.

La difficulté à creuser un profil au niveau de certains horizons renseigne également sur le niveau de compaction. Il faut cependant faire attention à évaluer la compaction en tenant compte de l'humidité du profil de sol (le sol se durcissant en séchant).

Exemples sur la compaction

Le riz pluvial est une culture qui a besoin d'un sol bien structuré. Il ne doit pas être installé sur un sol compacté. Le maïs et le sorgho ont un système racinaire plus puissant, qui leur permet de se développer sur des sols relativement compactés.

L'arachide ou le pois de terre ont un système racinaire peu puissant, mais se contentent d'un enracinement superficiel. Des graminées (comme les brachiarias) sont de véritables "machines" à décompacter les sols grâce à leur système racinaire très puissant et leur capacité à relancer l'activité biologique. Cette capacité de décompaction s'accroît encore lorsque des légumineuses à puissant pivot appartenant au genre *Crotalaria* et *Cajanus* sont associées aux graminées du genre *Brachiaria*.



Sol compacté et mauvais enracinement du maïs

Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

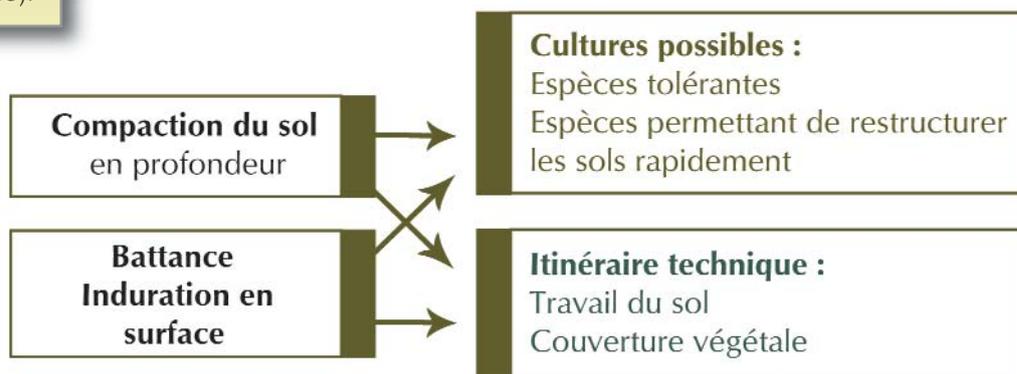
Sols battants ou indurés en surface

Les phénomènes de battance (formation d'une fine croûte "de battance", liée à l'action de la pluie sur des sols riches en particules très fines, mais non colloïdales) ou d'induration en surface (prise en masse des premiers centimètres d'un sol très destructuré, souvent après de fortes pluies) ont aussi des conséquences sur les cultures possibles, mais dans une moindre mesure que la compaction en profondeur. Certaines cultures supportent en effet très mal les conditions asphyxiantes créées par une croûte en surface.

Ces phénomènes ont de plus une forte influence sur l'itinéraire technique en année "zéro" (la battance étant éliminée par le paillage en semis direct), en particulier pour ce qui concerne les besoins en travail du sol et en paillage.

Exemple sur la battance

Le *Vigna umbellata* supporte très mal la battance et ne doit pas être cultivé sur sols battants (comme les sols ferrugineux tropicaux), nus (sans couverture végétale).



Le niveau de fertilité initiale du sol et les possibilités de l'améliorer et de corriger les carences

Le niveau de fertilité initiale du sol a des conséquences sur les cultures possibles et leur niveau de production, les niveaux de fertilisation nécessaires à apporter (en fonction des cultures) et la gestion de l'enherbement.

La fertilité du sol

Avant toute intervention, il est indispensable d'estimer le niveau de fertilité des sols, ce qui peut se faire très simplement par des observations :

- de la flore naturelle : des plantes comme *Aristida sp.*, *Heteropogon sp.*, *Chrysopogon* ou *Imperata cylindrica* par exemple sont indicatrices de sols dégradés et révélatrices d'une faible fertilité, voire très faible quand ces plantes sont peu développées et éparées. Le striga est quant à lui lié à une forte dégradation du statut organique du sol. A l'inverse, *Hypparrhenia sp.*, *Stenotaphrum sp.*, *Eleusine indica*, *Cynodon sp.* (bien développé) et de nombreuses dicotylédones comme *Acanthospermum hispidum*, *Galingsoga parviflora* ou *Tridax procumbens* sont indicatrices de sols relativement fertiles. La présence en abondance d'adventices de type *Conyza sp.*, *Ageratum sp.*, etc. est également révélatrice d'une bonne fertilité du sol ;
- du type de cultures mises en place par les paysans et de leur développement (sans engrais) : un maïs bien développé indique une bonne fertilité. Le riz également (mais ce dernier supporte mieux l'acidité que le maïs), et dans une moindre mesure le soja. Si leur développement est assez faible (production autour de 500-800 kg/ha), le sol est de fertilité moyenne. L'absence de ces cultures laisse supposer une fertilité faible, en particulier quand seuls le manioc, l'arachide ou le pois de terre sont possibles selon les dires des paysans ;
- de l'état des cultures, en particulier des cultures exigeantes comme le riz ou le maïs. On portera une attention particulière aux symptômes de carences, en éléments majeurs (N, P, K, S) mais aussi en oligo-éléments (B, Zn, Cu, Mn, etc.).

Les possibilités de corriger les carences du sol, de remonter la fertilité (apport de fumier et/ou d'engrais, écobuage, etc.) et de corriger l'acidité (amendements) permettent ou non la mise en place de cultures exigeantes/sensibles. Elles constituent un facteur primordial pour l'augmentation



Culture de maïs sur sol très pauvre après remontée de la fertilité par écobuage Hautes terres

Le choix des cultures, associations et successions

de la production de biomasse les premières années, avant que le niveau de fertilité du sol ait été amélioré par les pratiques de semis direct sur couverture végétale permanente.

L'utilisation d'engrais minéraux (coûteux) suppose que les moyens financiers soient disponibles

Les facteurs à prendre en compte

Exemples sur la fertilité du sol

Sur un sol peu fertile, des cultures exigeantes comme le maïs ne peuvent pas être cultivées sans apport d'engrais (minéral ou organique). La fertilisation étant coûteuse, sa rentabilité peut être faible (voire négative), en particulier sur des sols très pauvres où la culture de plantes exigeantes n'est pas rentable. Il faut dans ce cas préférer cultiver des plantes moins exigeantes (pois de terre, manioc, haricot, etc.), qui rentabilisent mieux une éventuelle fertilisation.

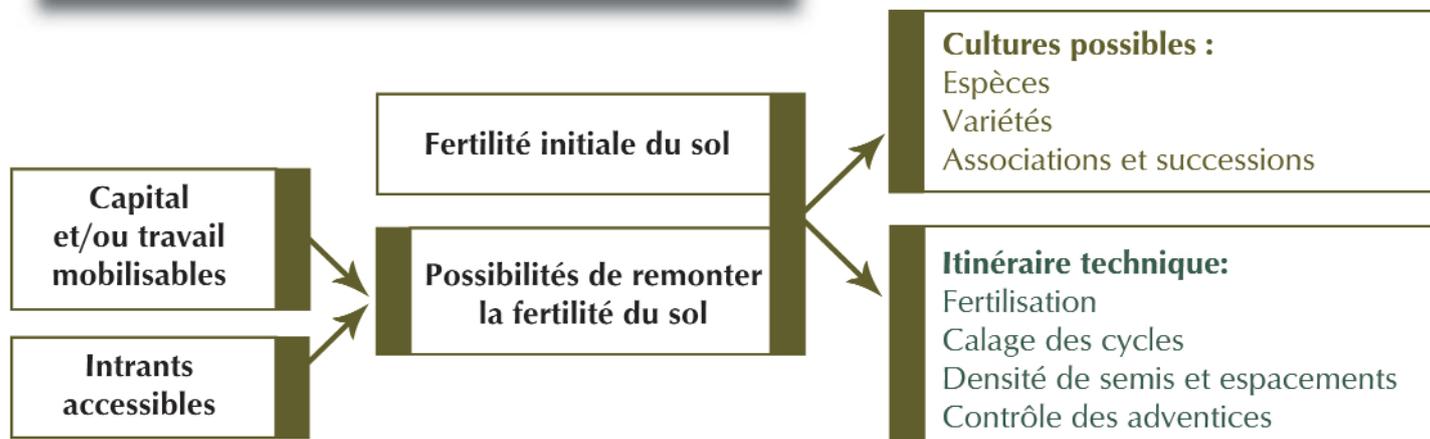
Sur sols riches, la fertilité bénéficie aux cultures, mais également aux adventices. L'itinéraire technique doit donc être adapté pour assurer un bon contrôle des mauvaises herbes.

Sur un sol de fertilité moyenne, la fertilisation du maïs est souvent intéressante puisqu'elle permet d'accroître sensiblement les rendements, ainsi que la biomasse produite (qui alimente les cultures en semis direct la saison suivante).

Cependant, si les intérêts à payer pour emprunter la somme nécessaire à l'achat des engrais sont élevés, et/ou si les risques d'échec sont importants et difficilement supportables, l'utilisation d'engrais minéral perd de l'intérêt. Il est préférable de cultiver alors une culture peu exigeante.

(dans des conditions qui ne fassent pas perdre tous les bénéfices d'un apport de fertilisation), que les intrants nécessaires soient accessibles et que les paysans soient en mesure de supporter le risque qu'un tel investissement représente, risque qui doit être clairement identifié et évalué. Elle suppose également que l'on se soit assuré d'être dans des conditions permettant de bénéficier de l'effet des engrais (bon contrôle des adventices, risque climatique faible, etc.).

Sans possibilité d'avoir recours à la fertilisation (minérale ou organique), l'installation de plantes de couverture (en particulier les légumineuses) peut être une bonne alternative, si elles peuvent être maintenues suffisamment longtemps en place.



La pression des adventices et les moyens de lutte disponibles

La pression des adventices est fonction de nombreux facteurs : climat, position sur la toposéquence (régime hydrique), niveau de fertilité du sol et apports de fertilisation, précédents culturaux et itinéraires techniques sur les cultures précédentes, etc.

L'ensemble de l'itinéraire technique doit être adapté pour maîtriser au mieux l'enherbement et éviter que les adventices entrent en compétition avec les plantes, que ce soit pour l'eau, la lumière ou les éléments nutritifs. Dans le cas où les moyens de contrôle des adventices sont limités (en particulier la main d'œuvre aux périodes critiques, l'accès aux

Exemple sur les adventices

Sur les *baiboho* (sols riches), où la pression des adventices est très forte, la culture de riz n'est intéressante que si des moyens de contrôle des adventices sont disponibles (herbicides ou main d'œuvre abondante). Si les moyens de contrôle des adventices sont limités, il est plus intéressant de cultiver du maïs, plus facile à désherber et moins sensible à la compétition des adventices que le riz. En associant le maïs à une légumineuse qui couvre rapidement le sol, la pression des adventices est fortement réduite et il est possible d'implanter du riz l'année suivante.

Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

herbicides et/ou leur maîtrise technique) et que la pression des adventices est forte (en particulier en cas d'apport d'engrais, car s'il favorise la croissance des plantes cultivées, un apport de fertilisation favorise aussi celles des adventices), on choisira de préférence de mettre en place des cultures et des associations faciles à désherber manuellement ou chimiquement (si disponible), et des espèces/varieties au démarrage rapide afin de couvrir le sol (et les adventices) au plus vite.

Certains systèmes sont particulièrement intéressants pour contrôler des adventices spécifiques comme le striga (cf. Volume I. Chapitre 3.). Il est important d'identifier ces adventices particulièrement nuisibles lors du diagnostic et de proposer alors des systèmes visant à les contrôler.



Cyperus rotundus, "peste végétale" difficile à maîtriser

La pression des bioagresseurs et les moyens de lutte disponibles

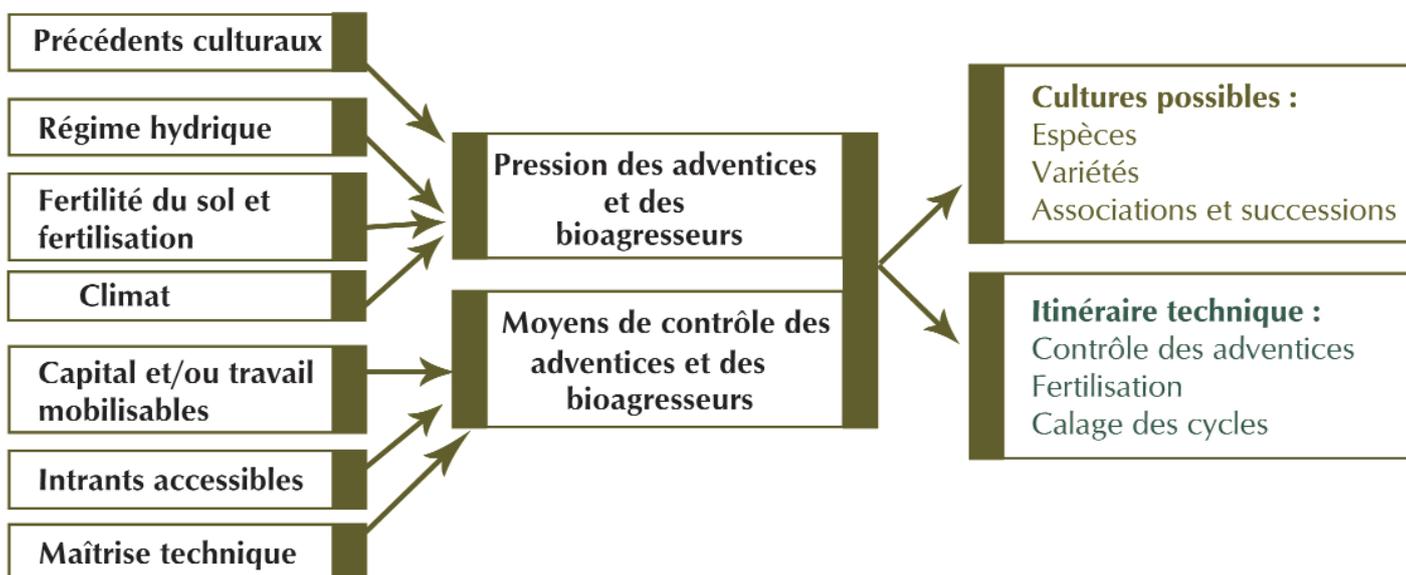
La pression des bioagresseurs est également fonction de nombreux facteurs : climat, présence ou non des insectes auxiliaires qui contrôlent les ravageurs, position sur la toposéquence (régime hydrique), niveau de fertilité du sol et apports de fertilisation (type de nutrition azotée en particulier pour les maladies fongiques), variétés résistantes ou sensibles, précédents culturaux et itinéraires techniques sur les cultures précédentes, etc.

En conséquence, la pression des bioagresseurs varie fortement en fonction des situations.

Elle doit être identifiée durant le diagnostic préliminaire, afin de s'assurer de ne pas proposer, les premières années, des cultures sensibles aux pestes locales (choix des espèces et variétés) si on ne dispose pas de traitements efficaces (insecticides, fongicides) et peu nuisibles.

Exemples sur les bioagresseurs

Au lac Alaotra, les parcelles en bordure des plaines sont soumises à une très forte pression des *Heteronychus sp.* et des vers blancs qui fuient la mise en eau ou l'inondation des rizières. La pression est telle qu'il est difficile de les contrôler, même avec l'emploi de produits chimiques, et qu'il est préférable de mettre en place à cette période des légumineuses, moins sensibles que les céréales. On peut également utiliser autour des parcelles de cultures, à la fois des couvertures répulsives (plantes odorantes : vesce, radis, desmodium) et/ou des couvertures qui au contraire sont très attractives et servent de pièges et détournent les insectes des cultures (*Pennisetum sp.* pour les borers, et le genre *Arachis* pour les punaises. Système "Push-pull" des anglo-saxons).



Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

Les risques de divagation des animaux et/ou de feux et les moyens de conserver la biomasse

La biomasse produite et restituée au sol étant un facteur primordial de l'efficacité des SCV, il est indispensable de s'assurer qu'elle pourra être maintenue sur la parcelle en quantité suffisante. En cas de risques forts de divagation des animaux et/ou de feux qu'il ne serait pas possible de contrôler au niveau du terroir (par l'arrêt de la vaine pâture, l'embocagement, etc.), seuls les systèmes produisant une très forte biomasse (y compris racinaire) et surtout les systèmes utilisant des plantes de couverture non appréciées par les animaux et/ou résistantes au feu (restant vertes en saison sèche, redémarrant rapidement après passage éventuel du feu) peuvent être proposés.

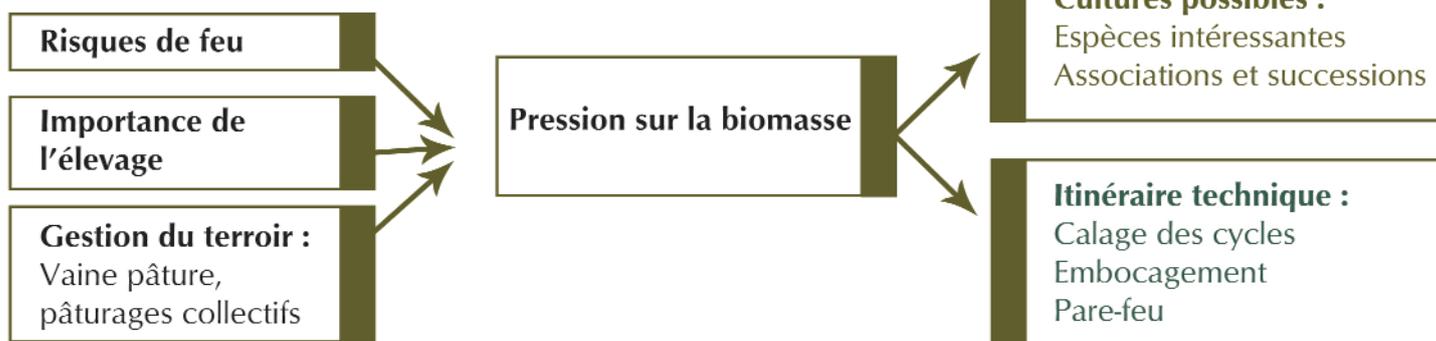
Sur les hautes terres, dans les zones où l'élevage laitier est une des principales sources de revenus des agriculteurs et où la demande en fourrage est très importante, les systèmes à proposer doivent permettre une forte production de biomasse, en particulier racinaire. "L'habillage" des cultures paysannes avec des plantes de couverture (et/ou fourragères) tempérées, comme l'avoine, est une possibilité à condition de prendre garde à maintenir une biomasse suffisante sur le sol (condition de réussite des SCV). Il est également possible de proposer des systèmes axés sur la production de biomasse avec des plantes pérennes à vocation fourragère (en prenant garde à gérer la fertilité en restituant au sols les éléments minéraux exportés), les pâturages étant régénérés après quelques années, par une implantation en SCV en association avec une culture (qui paye le coût de la régénération).

Enfin, dans certains milieux à forte densité de population, où les arbres ont pratiquement disparu, les résidus de récolte sont parfois utilisés comme combustible. Il est alors indispensable de travailler au niveau de l'aménagement du terroir et d'actions de reboisement.

Exemples sur la conservation de la biomasse

Sur les hautes terres et dans le moyen-ouest, certains villages ayant constaté l'intérêt des pratiques SCV ont modifié les règles locales (*Dina*) d'utilisation des résidus de culture qui peuvent être conservés par ceux qui le désirent.

Dans le Sud-Est, les paysans utilisent le *Stylosanthes guianensis* comme pare-feu, ayant constaté qu'il restait vert toute l'année et brûlait difficilement.



Les risques et le niveau de sécurisation

Tout investissement est une prise de risque. Le niveau de sécurisation du retour de l'investissement joue un rôle déterminant dans les processus de décision. Les systèmes et les itinéraires techniques sont souvent adaptés par les paysans pour minimiser ces risques.

Les systèmes SCV permettent de réduire certains risques (sécheresse, feu, insectes, etc.) mais ne peuvent sécuriser tous les facteurs de production et en particulier les risques non "agronomiques" (vols, etc.).

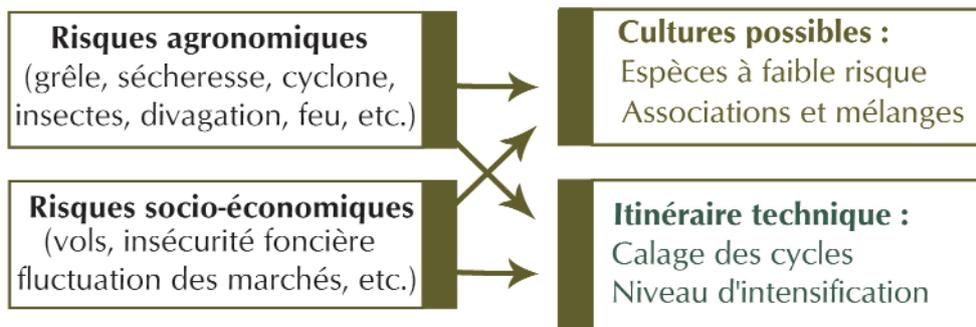
Exemples sur les risques

Un paysan qui n'est pas assuré de conserver sa parcelle (insécurité foncière) est, de manière générale, peu enclin à investir dans l'amélioration des conditions de culture. Il préfère souvent des systèmes peu intensifs et à retour économique très rapide. Le fermage ("location" de terre à un prix fixé) augmente les risques du fermier en cas d'échec, et ses profits en cas de bonne production. A l'inverse, le métayage (partage de la récolte) réduit les pertes du métayer en cas de mauvaise production, mais aussi ses gains en cas de réussite, ce qui limite fortement son intérêt à conduire des cultures intensives, à risque.

Le choix des cultures, associations et successions

Les facteurs à prendre en compte

Ainsi, l'absence de sécurisation foncière est un handicap pour le développement de systèmes qui ne permettent pas un retour rapide (investissement dans la fertilité des sols par exemple). Les risques élevés de perte de production sur pied, comme la grêle (fréquente sur les hautes terres) ou les vols (répandus dans toute l'île), limitent fortement l'intérêt d'investir pour intensifier les cultures. Les systèmes SCV proposés dans ces situations à haut risque sont en conséquence des systèmes peu intensifs.



Synthèse des facteurs déterminants des systèmes de cultures techniquement possibles

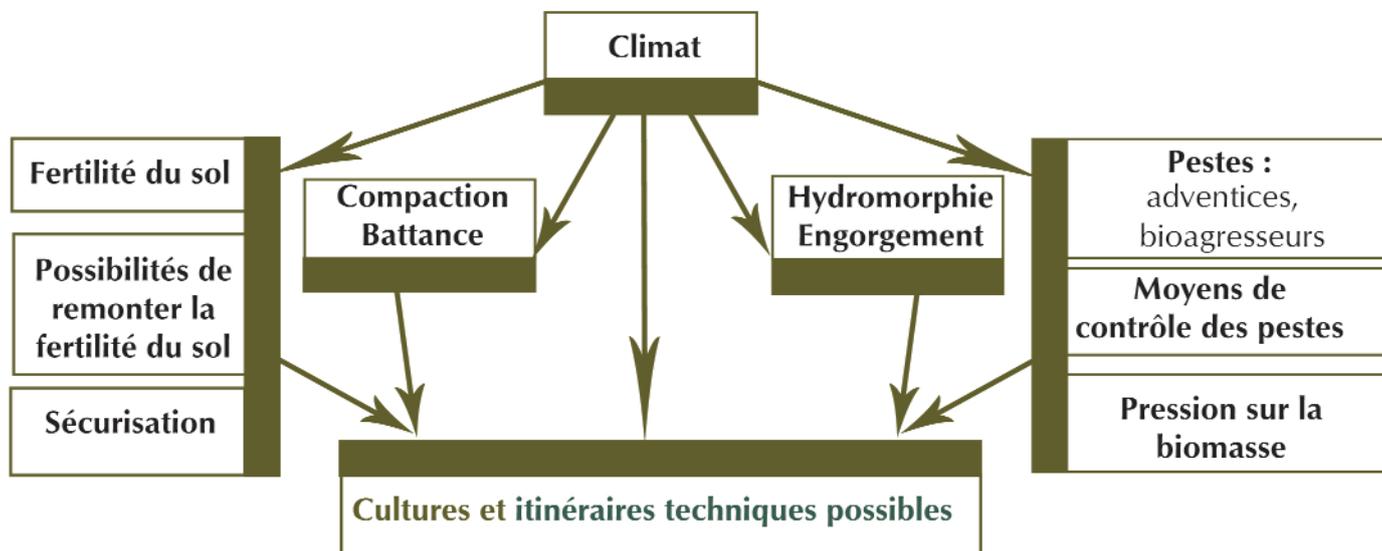
Les systèmes de culture et les itinéraires qui sont techniquement réalisables sont donc fonction de paramètres propres :



Terroir villageois
Lac Alaotra

- au terroir : climat (directement, mais aussi indirectement à travers son influence sur les caractéristiques de la parcelle) et pression sur la terre et la biomasse ;
- à l'exploitation : possibilités de remonter la fertilité des sols et moyens de contrôle des adventices ;
- à la parcelle : niveau de fertilité initial du sol, compaction et battance, hydromorphie et risque d'engorgement, pression des adventices, etc.

Systèmes de cultures et itinéraires techniques sont liés : l'itinéraire technique est fonction du système et des conditions particulières (caractéristiques de la parcelle, moyens disponibles). Certains systèmes, dans certaines conditions, ne sont possibles que si un itinéraire technique précis peut être conduit (apport d'engrais sur un sol pauvre pour une culture exigeante par exemple).



Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

4.2. L'identification des cultures, associations et successions possibles pour installer rapidement des systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente

Sur le plan agronomique, l'entrée dans le semis direct (qui consiste à "amorcer la pompe" en produisant une forte biomasse) se fait plus ou moins rapidement, en fonction des conditions initiales et des moyens disponibles. Un compromis doit être recherché pour trouver des systèmes répondant aux besoins, tout en optimisant la production et les revenus, avec les moyens disponibles et en prenant un minimum de risques.

Étape 1. L'identification des cultures possibles en année "zéro"

Pour la (ou les) première(s) année(s), le temps que les améliorations par les systèmes SCV se fassent ressentir, les systèmes de culture doivent permettre la mise en place de plantes de couverture (qui vont contribuer à lever les principales contraintes), mais aussi la production de cultures (la culture pure des plantes de couverture est coûteuse et immobilise la parcelle sans procurer de revenus).

En pratique, pour décider des systèmes de culture et des itinéraires techniques qui y sont associés, la première chose à faire est de prendre connaissance du niveau de compaction des sols en profondeur et de la battance sur les parcelles concernées, des risques d'engorgement, de la fertilité initiale et de la disponibilité des moyens pour remonter la fertilité de ces sols.

En se basant sur le tableau de synthèse (Tableau 1. Adaptation des principales plantes cultivées en SCV à Madagascar. Page 14), on peut procéder par élimination pour établir une liste des cultures qu'il est possible de cultiver dans la situation concernée (sol, climat), avec les moyens disponibles. On élimine tout d'abord les plantes qui ne sont pas adaptées au climat, puis celles sensibles à la compaction (si les sols sont compactés), à la battance (le cas échéant), et à l'engorgement/hydromorphie (sur des parcelles à risque). Enfin, parmi les plantes restantes, on peut identifier les cultures qu'il est possible de cultiver et les moyens nécessaires (apports d'engrais, contrôle des adventices, etc.):

- sur sol compacté, on met en place des cultures tolérant la compaction (système racinaire puissant comme le sorgho ou plantes se satisfaisant d'un enracinement superficiel comme le pois de terre);
- sur sol pauvre on utilise des plantes peu exigeantes (manioc, etc.), ou on apporte de la fertilisation (engrais, écobuage) sur des plantes plus exigeantes (en s'assurant d'être dans des conditions permettant une bonne valorisation de l'engrais : risque climatique limité, maîtrise de l'enherbement, etc.);
- en cas de forte pression des adventices on utilise des cultures peu sensibles et faciles à désherber, ou on s'assure d'un bon contrôle par sarclage, arrachage et/ou utilisation d'herbicide;
- en cas de forte pression des insectes, on met en place des cultures peu sensibles (espèces ou variétés résistantes) ou on a recours à des traitements (insecticide sur semences ou en végétation), de même que pour d'éventuelles maladies.



Association Sorgho + Vigna umbellata à faible densité sur sol pauvre en milieu semi-aride



Riz après écobuage
Lac Alaotra

On identifie de la même manière les plantes de couverture utilisables dans ces milieux, avec les moyens disponibles (Tableau 2. Adaptation des principales plantes de couverture utilisées en SCV à Madagascar. Page 15).

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Tableau 1. Adaptation des principales plantes cultivées en SCV à Madagascar
Climat et caractéristiques des parcelles

●●● : Très bon
 ●● : Bon
 Vide : Moyen
 — : Mauvais

| | Riz | Mais | Sorgho, Mill | Blé, Orge | Soja | Arachide | Haricot | Pois de terre | Nièbe | Vigna umbellata | Dolique | Cultures maraîchères | Pomme de terre | Manioc | Patate douce | Cotonnier |
|---|-----|------|--------------|-----------|------|----------|---------|---------------|-------|-----------------|---------|----------------------|----------------|--------|--------------|-----------|
| Adaptation au climat sub-tropical d'altitude gélif (Altitude > 1500 m) | | | ●● | ●● | ● | ●● | — | ● | ● | ●● | ●● | ●● | ● | ● | — | |
| Adaptation au climat sub-tropical d'altitude non gélif (Alt. 1200 - 1500 m) | ● | ● | ●● | ● | ● | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● | ●● | ● | ● | — | |
| Adaptation au climat de moyenne altitude avec saison sèche (600 - 1100 m) | ●● | ●● | ● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | ● |
| Adaptation au climat tropical humide (Alt. < 500 m) | ●● | ● | — | — | ● | ● | ● | ●● | ●● | ●● | — | — | ●● | — | — | — |
| Adaptation au climat semi-aride (Alt. < 500 m, précipitations < 800 mm) | — | ●● | — | — | ● | — | ● | ●● | ●● | ●● | — | — | ● | — | ●● | ●● |
| Aptitude à se développer sur sol compacte | — | ●● | — | — | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | — | — |
| Aptitude à se développer sur sol à faible fertilité (sans apport d'engrais) | — | — | ● | — | ● | ● | ●● | ●● | ●● | ● | — | — | ●● | ●● | ●● | — |
| Tolérance à l'acidité et l'aluminium | ●● | — | — | — | ● | — | — | — | — | — | — | — | ●● | — | — | — |
| Tolérance à la battance | — | ● | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ● | — | — | — |
| Tolérance à l'engorgement / hydromorphie | ●● | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Facilité de contrôle de l'enherbement dans la culture | — | ● | — | — | — | — | — | — | ● | ●● | — | — | — | — | — | — |
| Conservation de la biomasse en cas de divagation | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Tableau 2. Adaptation des principales plantes de couverture utilisées en SCV à Madagascar
Climat et caractéristiques des parcelles

| | Mucuna | Vesce | Stylosanthes | Arachide pérenne | Desmodium | Trèfle | Cajanus | Crotalaire | Avoine | Elusine | Ray grass | Brachiaria | Kikuyu grass | Radis fourrager | Lupin |
|---|--------|-------|--------------|------------------|-----------|--------|---------|------------|--------|---------|-----------|------------|--------------|-----------------|-------|
| Adaptation au climat sub-tropical d'altitude gélif (Altitude > 1500 m) | — | ●●● | — | ●●● | ●●● | ●●● | — | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● |
| Adaptation au climat sub-tropical d'altitude non gélif (Alt. 1200 -1500 m) | ●● | — | ● | ●●● | ●●● | ●● | ● | ●● | ● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● |
| Adaptation au climat de moyenne altitude avec saison sèche (600 - 1100 m) | ●●● | ●●● | ●●● | ●● | — | ●●● | ●●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● |
| Adaptation au climat tropical humide (Alt. < 500 m) | ● | — | ●●● | — | — | — | — | — | ●● | — | ●● | — | — | — | — |
| Adaptation au climat semi-aride (Alt. < 500 m, précipitations < 800 mm) | — | ● | — | — | — | ● | ● | — | ● | — | ● | — | — | — | — |
| Aptitude à se développer sur sol compacté | ● | ● | ● | ● | ● | ●●● | ●●● | ● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | ● |
| Aptitude à se développer sur sol à faible fertilité (sans apport d'engrais) | ●●● | ●●● | ● | — | — | ●● | ●● | — | ● | ● | ●● | — | — | — | — |
| Tolérance à l'acidité et l'aluminium | ●●● | ●●● | ● | — | — | — | ● | ● | ● | ● | ●● | — | — | — | — |
| Tolérance à la battance | — | ● | — | — | — | ●● | ●● | — | ● | ● | ●● | ●● | ●● | ● | ● |
| Tolérance à l'engorgement / hydromorphie | — | ●● | — | — | — | — | — | — | — | — | ● | — | ● | — | — |
| Facilité de contrôle de l'enherbement dans la plante de couverture | ● | ●●● | ●●● | ● | ● | ● | ● | ●● | — | — | ●● | ●● | ●● | ●● | ● |
| Conservation de la biomasse en cas de divagation | — | ● | — | — | — | — | ●● | — | — | — | — | — | — | — | ● |

●●● : Très bon

●● : Bon

— : Vide : Moyen

— : Mauvais

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Etape 2. L'identification des plantes les plus intéressantes pour lever rapidement les principales contraintes agronomiques

On cherche à inclure en priorité dans les systèmes de cultures des plantes aux fonctions agronomiques et environnementales intéressantes et complémentaires, pour lever au plus vite les contraintes agronomiques majeures et entrer rapidement en SCV. Ces fonctions agronomiques (restructuration et enrichissement du sol, contrôle des adventices, etc.) sont cependant remplies plus ou moins rapidement (et plus ou moins efficacement) en fonction des plantes utilisées, des systèmes de culture et des itinéraires techniques. Le tableau 3 (page 18) synthétisant les intérêts agronomiques des plantes cultivées et le tableau 4 (page 19), présentant les intérêts agronomiques des plantes de couverture utilisées en SCV à Madagascar, permettent de sélectionner les plantes capables de produire rapidement une forte biomasse et de lever les principales contraintes agronomiques (compaction, fertilité, enherbement, etc.) :



Manioc + brachiaria sur sol compacté
Lac Alaotra

- sur des sols compactés, on utilise des plantes de couverture au système racinaire très puissant et qui permettent le développement d'une activité biologique importante, en particulier les graminées (les brachiarias par exemple), et certaines légumineuses comme le stylosanthes ;
- l'enrichissement du sol peut se faire par l'utilisation de plantes capables de recycler les éléments nutritifs (potasse, bases, etc.) et/ou de plantes capables de fixer de grandes quantités d'azote, en associations et/ou successions avec des cultures peu exigeantes, ou fertilisées ;
- le contrôle de l'enherbement se fait par production d'une forte biomasse maintenue au sol, et/ou par l'utilisation de plantes aux effets allélopathiques ;
- le contrôle de certains insectes peut se faire par l'utilisation de plantes insecticides ou répulsives (radis fourrager par exemple).

On dispose ainsi de la liste des espèces possibles de cultiver, et des plantes les plus intéressantes pour lever rapidement les contraintes agronomiques majeures.

Etape 3. L'identification des associations et successions techniquement possibles et intéressantes pour lever les principales contraintes agronomiques et produire rapidement une forte biomasse

La dernière étape consiste à déterminer les systèmes de culture qui utilisent au mieux les différentes espèces, pour assurer durablement la production agricole et lever les principales contraintes.

Outre les successions de cultures quand elles sont réalisables, on utilise autant que possible les associations de plantes de couverture avec des cultures peu sensibles aux contraintes agronomiques existantes (que l'on cherche à lever), qui permettent de produire des revenus rapides. On essaye également d'associer des plantes dont l'utilisation est la plus facile possible, de manière à être compatibles avec les moyens disponibles. Enfin, on utilise quand c'est possible des plantes qui produisent des grains consommables et/ou peuvent être partiellement utilisées comme fourrage pour l'alimentation animale. Ces plantes peuvent éventuellement être utilisées en mélanges (en prenant garde de créer des mélanges de plantes qui pourront être contrôlés facilement pour la remise en culture), pour remplir diverses fonctions agronomiques complémentaires.



Fortes intensités des cultures sur les sols volcaniques riches des hautes terres

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Les facteurs à prendre en compte

Les paramètres à prendre en compte lors du choix des associations/successions sont :

- la longueur de la période de culture, elle même fonction :
 - du climat, qui détermine par la disponibilité en eau et les températures, les périodes de croissance possibles pour les différentes plantes, et
 - de la position sur la toposéquence, et du régime hydrique qui déterminent les possibilités d'accès à l'eau et donc les possibilités de production en dehors de la saison des pluies (et à l'inverse les risques de submersion en saison des pluies);
- l'intensité de l'utilisation des sols (nombre de cycles de culture par année), liée à la densité de population et/ou la fertilité initiale des sols, et les besoins en fourrages pour les animaux.

Ces facteurs sont difficilement contrôlables/modifiables et influencent directement les possibilités d'associations ou de successions de cultures.

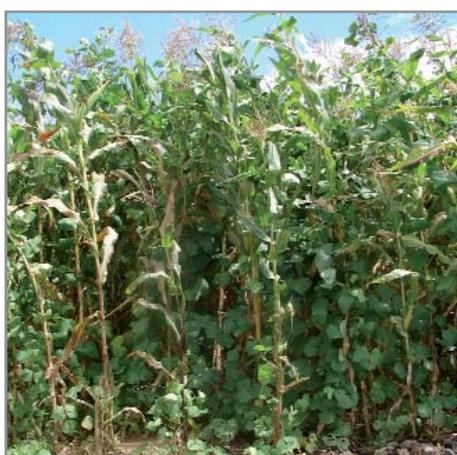
D'autres facteurs jouent également un rôle important dans les possibilités d'association et de succession de cultures :

- les caractéristiques des cultures et des plantes de couverture, pour les variétés choisies : cycle, vigueur au départ et port (qui déterminent les risques de compétition pour la lumière), photopériodisme éventuel, tolérance au froid et à la sécheresse (qui déterminent les périodes de production possibles), puissance et vitesse de développement du système racinaire (qui influencent les risques de compétition pour l'eau et les éléments nutritifs);
- le niveau de fertilité du sol (y compris les risques de carences en oligo-éléments) qui influence les vitesses de croissance respectives des différentes plantes (et donc la compétition pour la lumière) et qui peut modérer l'incidence de la compétition pour les éléments nutritifs. Un apport d'engrais permet de faciliter la gestion des systèmes et d'augmenter la production de biomasse.

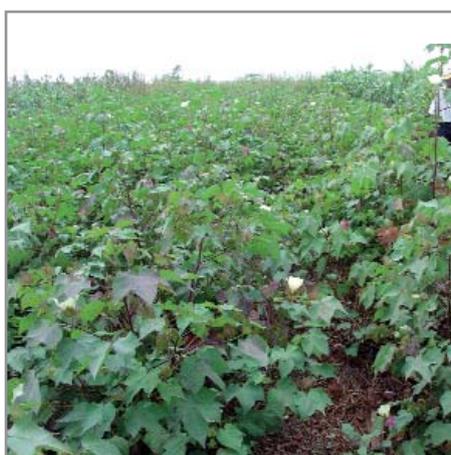
Ces facteurs sont cependant moins déterminants du fait qu'il est possible d'en modérer les effets par le choix d'itinéraires techniques adaptés (choix de variétés aux caractéristiques plus favorables pour ces conditions, fertilisation localisée, décalage du semis, ajustement de l'espacement entre plantes, etc. cf. Volume II. Chapitre 2.).



Ainsi, les possibilités sont directement liées aux zones agro-écologiques. Certaines associations/successions sont possibles dans de nombreuses situations mais plus ou moins faciles à mettre en œuvre, d'autres ne sont possibles que dans certaines conditions climatiques et de sols (cf. Volume I. Chapitre 1. et Volume I. Chapitre 2.).



Association maïs + dolique
à forte production de biomasse
Hautes terres



Cotonnier après maïs + dolique
Sud-Ouest



Riz après maïs + dolique
Lac Alaotra

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Tableau 3. Intérêts agronomiques des principales plantes cultivées en SCV à Madagascar

| | Riz | Mais | Sorgho, Mil | Blé, Orge | Soja | Arachide | Haricot | Pois de terre | Nièbe | Vigna umbellata | Dolique | Cultures maraîchères | Pomme de terre | Manioc | Patate douce | Cotonnier |
|--|-----|------|-------------|-----------|------|----------|---------|---------------|-------|-----------------|---------|----------------------|----------------|--------|--------------|-----------|
| Décompactation des sols et augmentation du taux de matière organique | — | ●● | — | — | — | — | — | — | ● | ● | ● | — | — | — | — | — |
| Protection contre l'érosion | — | — | — | — | — | — | — | — | ● | ● | ● | — | — | ● | — | — |
| Fixation d'azote | — | — | — | — | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | — | — | — | — | — |
| Recyclage et mobilisation des bases et éléments nutritifs | — | ● | ●● | — | — | — | — | — | — | — | ● | — | — | — | — | — |
| Production totale de biomasse | ● | ●● | ●● | — | — | — | — | — | ● | ● | ● | — | — | — | — | — |
| Aptitude à produire durant les périodes marginales (saison sèche, froide) | — | — | — | ● | — | ● | — | — | ● | ● | ● | — | — | ●● | — | — |
| Contrôle de l'enherbement et réduction des sarclages, sans recours à l'herbicide | — | — | — | — | — | — | — | — | ● | ● | ● | — | — | — | — | — |
| Contrôle naturel des insectes | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Facilité d'utilisation (production de semences, mise en place, contrôle, etc.) | — | ● | — | — | — | — | — | — | ●● | ● | ●● | — | — | ● | — | — |
| Production de grains ou tubercules consommables | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● | ●● | — | — |
| Possibilité d'utilisation en fourrage | ● | ● | ● | ● | ● | — | ● | ● | ● | ● | ● | — | — | ● | — | — |

●● : Très bon ● : Bon Vide : Moyen — : Mauvais

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Tableau 4. Intérêts agronomiques des principales plantes de couverture utilisées en SCV à Madagascar

| Plante | Décompactation des sols et augmentation du taux de matière organique | Protection contre l'érosion | Fixation d'azote | Recyclage et mobilisation des bases et éléments nutritifs | Production totale de biomasse | Aptitude à produire durant les périodes marginales (saison sèche, froide) | Contrôle de l'enherbement et réduction des sarclages, sans recours à l'herbicide | Contrôle naturel des insectes | Facilité d'utilisation (production de semences, mise en place, contrôle, etc.) | Production de grains ou tubercules consommables | Possibilité d'utilisation en fourrage |
|------------------|--|-----------------------------|------------------|---|-------------------------------|---|--|-------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Mucuna | ● | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● | ●● | ● | - | ●● |
| Vesce | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● | ●● | - | ●● |
| Stylosanthes | ●● | ●● | ●● | ● | ● | ● | ●● | ●● | - | - | ●● |
| Arachide perenne | ● | ●● | ●● | ● | ● | ● | ● | ● | - | - | ●● |
| Desmodium | ● | ●● | ●● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | - | ●● |
| Trèfle | ● | ● | ●● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Cajanus | ● | ● | ●● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | - | - |
| Crotalaire | ●● | ● | ● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | ●● |
| Avoine | ●● | ●● | ● | ● | ●● | ●● | ● | ● | ● | - | ●● |
| Elusine | ● | ●● | - | ● | ●● | ● | ● | ● | ● | - | ●● |
| Ray grass | ●● | ●● | - | ●● | ●● | ● | ● | ● | ● | - | ●● |
| Brachiaria | ● | ●● | - | ● | ● | ● | ● | ● | ● | - | ●● |
| Kikuyu grass | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ●● | ● | - | ●● |
| Radis fourrager | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | - | ● |
| Lupin | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | - | ● |

●● : Très bon ● : Bon - : Vide : Moyen - : Mauvais

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Baiboho: sol alluvial ou colluvial, riche en limons (terme malgache)

Les tableaux de synthèses (tableaux 5 à 9) présentent les associations et successions possibles dans les différentes zones agro-écologiques.

Associations et successions de cultures en climat de moyenne altitude (600 à 1100 m) avec longue saison sèche (Lac Alaotra, Moyen-Ouest)

Dans ce type de climat, de nombreuses cultures et plantes de couverture peuvent être utilisées. La saison sèche marquée rend impossibles les successions intra-annuelles de cultures sur les *tanety*, où seules les associations et les successions inter-annuelles sont possibles.



Maïs + *Stylosanthes guianensis*

Dans les zones basses (*baiboho*, rizières) en revanche, des plantes à enracinement rapide, capables de se connecter avec la nappe d'eau souterraine (dolique, vesce, etc.) peuvent être installées en succession des cultures principales.

Dans toutes les situations, des plantes pérennes (*stylosanthes*, *brachiaria*) installées avec la culture principale peuvent être utilisées pour produire de la biomasse en saison sèche (pendant plusieurs mois sans pluies sur les *tanety*, durant toute la saison sèche dans les zones basses).

Dans les rizières à mauvaise maîtrise de l'eau (RMME) et sur les *baiboho* qui permettent de réaliser une contre saison, la succession riz/vesce est particulièrement intéressante (contrôle des adventices et forte fixation d'azote par la vesce).

Exemple de choix au Lac Alaotra

Sur les *tanety* moyennement riches et non compactées de la rive Est du lac Alaotra et sur les riches *baiboho*, les paysans cultivent riz et maïs de préférence. Une des principales contraintes est la forte pression des adventices. Il est donc préférable de démarrer le système par du maïs, que l'on peut associer à une plante de couverture (légumineuse) qui enrichira le sol et aidera à contrôler les adventices en produisant une forte biomasse. Si la pression sur la terre est importante (cas des *baiboho*), une légumineuse volubile à graines (*Dolique*, *Niébé*, *Vigna umbellata*) aura l'avantage de produire des graines et de permettre la culture de riz dans les résidus de récolte, dès l'année suivante. Si l'espace disponible le permet, on peut préférer associer le maïs à du *stylosanthes* qui sera laissé en place deux ans, pour permettre la culture de riz dans d'excellentes conditions (contrôle total des adventices, enrichissement du sol) l'année suivante.

Tableau 5: Possibilités d'associations et de successions intra-annuelles des principales plantes cultivées en moyenne altitude (Lac Alaotra et Moyen-Ouest)

| | Soja, Haricot | Arachide, Pois de terre | Dolique | Vigna umbellata | Niébé | Mucuna | Vesce | Stylosanthes | Arachide pérenne | Crotalaire | Cajanus | Brachiaria | Eleusine | Avoine | Cultures maraichères, Pomme de terre |
|-------------------------|---------------|-------------------------|---------|-----------------|-------|--------|-------|--------------|------------------|------------|---------|------------|----------|--------|--------------------------------------|
| Riz | | | □ | □ | + | - | □ | ++ | + | + | + | | □ | □ | |
| Maïs, Sorgho | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ++ | ++ | ++ | + | ++ | □ | □ | |
| Soja, Haricot | | | - | - | - | - | + | | - | + | + | + | □ | | |
| Arachide, Pois de terre | | | - | - | - | - | | ++ | - | + | ++ | + | | | |
| Manioc | | | - | - | | - | - | ++ | + | | ++ | | | | |

- ++ Association très intéressante et facile à réaliser
- + Association assez intéressante, mais demandant le respect d'un itinéraire technique précis
- Succession intéressante (possible uniquement dans les zones basses)
- Vide: Association ou succession ayant peu d'intérêt et/ou difficile à conduire
- Association ou succession très difficile à gérer ou impossible (plantes non compatibles)

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Associations et successions de cultures en climat sub-tropical d'altitude (hautes terres), zones non gélives (1200 à 1500 m)

Sur les Hautes terres malgaches, la principale contrainte à la mise en place de successions de cultures est la saison froide marquée, qui limite les possibilités de production de biomasse, même quand l'eau n'est pas un facteur limitant. En conséquence, seules des plantes "tempérées" (avoine, blé, orge, ray grass, vesce, etc.) permettent de conduire des successions et de produire une biomasse importante durant la saison froide. L'association des cultures avec des plantes de couverture pérennes (stylosanthes, brachiaria, etc.) est également possible, mais la production de biomasse en saison froide est très limitée. Par contre, ces plantes permettent une production de biomasse non négligeable en fin de saison chaude (après la récolte de la culture principale) et dès la sortie de la période de froid, avant la mise en place de cultures.

L'utilisation de plantes pérennes pour la mise en culture en semis direct sur couverture végétale vivante est également une option intéressante. On peut ainsi cultiver des légumineuses sur une couverture vivante de graminées (Kikuyu grass) ou, à l'inverse, des céréales (maïs, riz) sur une couverture vivante de légumineuse pérenne (arachide pérenne, desmodium, trèfle, etc.).

Quand la demande en fourrages est très élevée (zones d'élevage laitier), il est important d'accroître fortement la production de biomasse et de l'exporter de manière raisonnée (restitution de fertilité, maintien d'une quantité suffisante pour des SCV performants, en particulier les premières années, pour "amorcer" la pompe des SCV).

Exemple de choix sur les hautes terres

Sur les *tanety* moyennement riches des hautes terres, la culture de pomme de terre nécessite un apport de fertilisation et produit peu de biomasse, mais elle permet d'obtenir des revenus très intéressants. En écobuant, la fertilité libérée est très élevée et permet par la forte production obtenue d'investir dans une fumure minérale de correction pour les 5 ans suivants. En associant la pomme de terre avec de l'avoine, on peut augmenter fortement la production de biomasse. Cette biomasse peut être partiellement exportée pour l'alimentation des animaux, en prenant garde d'en conserver suffisamment au sol pour permettre le semis direct de riz (qui profitera de l'arrière effet de la forte fertilisation apportée à la pomme de terre) l'année suivante, avec un bon contrôle des adventices (effets allélopathiques de l'avoine).

Tableau 6: Possibilités d'associations et de successions intra-annuelles des principales plantes cultivées en altitude, zone non gélive (Hautes terres, 1200 à 1500 m)

| | Soja, Haricot | Arachide, Pois de terre | Niébé | Vesce | Stylosanthes | Arachide pérenne | Desmodium, Trèfle | Crotalaire, Cajanus | Avoine | Ray grass | Brachiaria | Kikuyu | Radis fourrager, Lupin | Cultures maraîchères, Pomme de terre |
|-------------------------|---------------|-------------------------|-------|-------|--------------|------------------|-------------------|---------------------|--------|-----------|------------|--------|------------------------|--------------------------------------|
| Riz | | | + | □ | + | + | | + | □ | | + | | +□ | □ |
| Maïs | ++ | + | + | + | + | + | + | ++ | + | + | + | + | ++□ | ++ |
| Avoine | □□ | | | + | | | | | | | + | - | | ++ |
| Blé, Orge | | - | - | + | | | | | - | | - | - | | |
| Soja, Haricot | | - | - | | + | | | + | + | | + | + | | |
| Arachide, Pois de terre | | | - | - | + | - | | + | + | + | □ | | | |
| Manioc | | | - | - | ++ | + | | | | | | | | |
| Patate douce | | | - | - | - | | | | | | - | | | |

- ++ Association très intéressante et facile à réaliser
- + Association assez intéressante, mais demandant le respect d'un itinéraire technique précis
- Succession très intéressante (possible dans tous les milieux)
- Succession intéressante (possible uniquement dans les zones basses)
- Vide : Association ou succession ayant peu d'intérêt et/ou difficile à conduire
- Association ou succession très difficile à gérer ou impossible (plantes non compatibles)

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Associations et successions de cultures en climat sub-tropical d'altitude, zones gélives (Hautes terres > 1500 m)

Dans les zones gélives, la contrainte du froid est encore accentuée, ce qui limite les possibilités de cultures. Les très faibles productions du pois de terre, de l'arachide, du niébé ou du manioc rendent ces cultures peu intéressantes. De la même manière, la production de biomasse par des plantes de couverture pérennes (stylosanthes, brachiaria) installées en association dans une culture est trop faible pour alimenter correctement des systèmes en SCV, d'autant plus que ces plantes pérennes peuvent succomber au gel.

Exemple de choix sur les hautes terres

Dans les rizières à mauvaise maîtrise de l'eau des hautes terres, les conditions hydriques peuvent permettre la culture de contre-saison, à condition de choisir des espèces peu exigeantes en température et résistantes au gel. On peut ainsi faire succéder au riz une culture de céréale d'hiver (blé, orge, avoine) qui peut aussi être associée à une légumineuse comme la vesce (intéressante pour la fixation d'azote). Outre la production supplémentaire de grains, la contre-saison permet de produire une forte biomasse qui prépare le semis direct de la saison suivante.

Tableau 7: Possibilités d'associations et de successions intra-annuelles des principales plantes cultivées en altitude, zone gélive (Hautes terres, altitude >1500 m)

| | Soja, Haricot | Vesce | Desmodium, Trèfle | Crotalaire | Avoine | Ray grass | Kikuyu | Radis fourrager, Lupin | Cultures maraîchères, Pomme de terre |
|---------------|---------------|-------|-------------------|------------|--------|-----------|--------|------------------------|--------------------------------------|
| Riz | | □ | | + | □ | | | +□ | □ |
| Maïs | ++ | + | + | ++ | + | + | + | ++□ | ++ |
| Avoine | □□ | + | | | | | - | | ++□ |
| Blé, Orge | | + | - | - | | | - | | |
| Soja, Haricot | | | | + | + | | + | | |
| Patate douce | | - | | | | | | | |

- ++ Association très intéressante et facile à réaliser
- + Association assez intéressante, mais demandant le respect d'un itinéraire technique précis
- Succession très intéressante (possible dans tous les milieux)
- Succession intéressante (possible uniquement dans les zones basses)
- Vide : Association ou succession ayant peu d'intérêt et/ou difficile à conduire
- Association ou succession très difficile à gérer ou impossible (plantes non compatibles)

Associations et successions de cultures en climat tropical humide (Côte Est)

En climat chaud et humide, les principales contraintes aux associations ou successions de cultures sont souvent : i) l'excès d'eau (engorgement, submersion), qui réduit les possibilités de cultures, en particulier dans les zones basses et, ii) les sols hydromorphes, et la fertilité chimique très basses des sols, l'acidité très élevée de leur matière organique.

La forte disponibilité en eau et les températures permettent d'associer ou de se faire succéder facilement les cultures sur une parcelle. Cependant, si la production de biomasse



Bas-fonds et tanety sur la côte Est

Le choix des cultures, associations et successions

Exemple de choix en climat tropical humide

Sur les *tanety* hydromorphes de la côte Est, le riz est la seule culture possible. Afin de rompre la monoculture, il est nécessaire d'introduire une légumineuse dans le système. Seul *Stylosanthes guianensis* supporte ces conditions d'hydromorphie. Le riz peut être associé au stylosanthes qui se développera durant toute l'année. Du riz pourra être ressemé dans la couverture de stylosanthes, soit l'année suivante si la biomasse est suffisante, soit après deux ans de stylosanthes qui aura enrichi le sol et contrôlé les adventices.

est aisée, la minéralisation de la matière organique sous ces climats est extrêmement rapide et il est indispensable de produire une très forte biomasse tout au long de l'année, pour permettre un bon fonctionnement des systèmes sous SCV.

Le choix des systèmes

Tableau 8: Possibilités d'associations et de successions intra-annuelles des principales plantes cultivées en zone tropicale humide (Côte Est)

| | Nièbé | Haricot | Pois de terre | Mucuna | Stylosanthes | Arachide pérenne | Bracharia |
|------------------------|-------|---------|---------------|--------|--------------|------------------|-----------|
| Riz | □ | □ | | - | ++ | + | |
| Maïs, Sorgho | ++ | + | + | ++ | ++ | + | + |
| Arbres fruitiers, café | | | | | | ++ | |
| Manioc | | | | - | ++ | + | + |
| Patate douce | | | | - | | | |

- ++ Association très intéressante et facile à réaliser
- + Association assez intéressante, mais demandant le respect d'un itinéraire technique précis
- Succession intéressante (possible uniquement dans les zones basses)
- Vide: Association ou succession ayant peu d'intérêt et/ou difficile à conduire
- Association ou succession très difficile à gérer ou impossible (plantes non compatibles)

Associations et successions de cultures en climat semi-aride avec saison sèche de 7 à 8 mois (Sud-Ouest) ou avec très longue saison sèche et pluies très aléatoires (Grand Sud)

Dans ce type de climat à saison des pluies très courte, les successions de cultures ne sont pas possibles (sauf avec irrigation). La production de biomasse est limitée par la faible disponibilité de l'eau, mais peut être augmentée par des associations de cultures. Celles-ci doivent cependant être conduites selon un itinéraire technique précis afin de limiter les risques de compétition pour l'eau par la plante de couverture, au détriment de la culture. De plus, ces zones sèches sont souvent victimes de fortes attaques d'insectes (criquets, chenilles, foreurs de tiges, etc.) qui peuvent détruire les cultures principales, mais aussi parfois les plantes de couverture.

Exemple de choix en climat semi-aride

Sur les sols sableux du Sud-Ouest, maïs et sorgho sont les céréales dominantes. Toutes deux peuvent être associées à des légumineuses alimentaires, volubiles (ce qui permet d'augmenter fortement la production de biomasse) ou non, qui produisent un revenu supplémentaire. Leur biomasse se décomposant lentement dans ces milieux, le semis direct est possible dès l'année suivante, que ce soit avec les mêmes plantes ou avec du cotonnier (qui est une culture de rente intéressante).

Dans le cas où les risques de divagation d'animaux sont importants, on peut associer les céréales avec de la crotalaire, qui n'est pas consommée et dont la biomasse peut ainsi être maintenue sur la parcelle.

Le choix des cultures, associations et successions

Le choix des systèmes

Si la production de biomasse dans ces milieux est limitée, la minéralisation y est également faible durant toute la saison sèche. Les systèmes SCV peuvent être performants avec une biomasse beaucoup plus faible qu'en climat tropical humide. La décomposition étant faible, il est même possible de construire des systèmes avec une forte production de biomasse une année sur deux seulement, la deuxième année pouvant être consacrée à une production à fort intérêt économique (comme le coton), mais à faible intérêt agronomique du fait de la production de biomasse limitée.

Tableau 9: Possibilités d'associations et de successions intra-annuelles des principales plantes cultivées en zone semi-aride (Grand Sud et Sud-Ouest)

| | Arachide, Pois de terre, Pois du cap | Dolique, Niébé, Vigna umbellata | Crotalaire, Cajanus | Stylosanthes | Brachiaria | Eleusine |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------|------------|----------|
| Riz | - | □ | | | | |
| Maïs | + | ++ | + | + | + | + |
| Sorgho, Mil | + | ++ | + | + | + | + |
| Arachide, Pois de terre | | - | + | + | + | + |
| Manioc | | - | | + | + | |
| Cotonnier | | - | | | - | |

- ++ Association très intéressante et facile à réaliser
- + Association assez intéressante, mais demandant le respect d'un itinéraire technique précis
- Succession intéressante (possible uniquement dans les zones basses)
- Vide: Association ou succession ayant peu d'intérêt et/ou difficile à conduire
- Association ou succession très difficile à gérer ou impossible (plantes non compatibles)

Ainsi, pour chaque zone agro-écologique de Madagascar, les tableaux présentant les possibilités d'association ou de succession des principales cultures avec les principales plantes de couverture permettent d'identifier les systèmes les plus intéressants pour lever rapidement les principales contraintes agronomiques. Les successions interannuelles permettent de faire entrer dans les systèmes des plantes d'intérêts agronomiques et/ou économiques variés, permettant de faire évoluer favorablement les sols et les gains des agriculteurs.

Les successions intra-annuelles, faciles à gérer, ne sont possibles que quand la disponibilité en eau et les températures le permettent.

Certaines associations sont faciles à gérer, alors que d'autres nécessitent un itinéraire technique précis (dates, densité, profondeur et espacements de semis, fertilisation éventuellement localisée, choix des variétés, application d'herbicide, etc.), adapté aux conditions de climat, au niveau de fertilité du sol et aux plantes associées.



Plante de couverture (stylosanthes) permettant une amélioration du sol