



CEA/TNG/CDSR/AGR
Décembre 2001

Original: FRANÇAIS

NATIONS UNIES
COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'AFRIQUE

Centre de développement sous-régional
pour l'Afrique du Nord (CDSR)

LE SEMIS DIRECT : POTENTIEL ET LIMITES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE EN AFRIQUE DU NORD

Tanger (Maroc)

Le Centre de développement pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN) est une institution de la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA). Le Centre a été créé en 1963 et son siège se trouve à Tanger, Maroc. Il couvre sept Etats Membres : Algérie, Egypte, Libye, Mauritanie, Maroc, Soudan et Tunisie.

La fonction principale du Centre est de promouvoir la coopération et l'intégration sous-régionales. Pour cela, il fournit un soutien technique aux Etats Membres pour promouvoir des approches et des actions collectives au niveau de la sous-région.

Centre de développement pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN)

B.P. 316 - Tanger 90000 - Maroc

Tel: 00-212-39-322 346/347

Fax: 00-212- 39- 340 357

Email: srdc-na@uneca.org

Internet : <http://www.uneca.org>

Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas forcément les points de vue des Nations Unies.

LE SEMIS DIRECT : POTENTIEL ET LIMITES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE EN AFRIQUE DU NORD ¹

¹ Cette publication a été préparée sur la base des travaux de **Dr. Rachid Mrabet**, Maître de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique, Centre Aridoculture, BP 589 Settat 26000, Maroc. Tél : 212 (0) 61 43 07 68, Fax : 212 (0) 23 40 32 09, Email : mrabet_rachid@hotmail.com

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Agriculture durable : une obligation pour les pays de l'Afrique du Nord	2
Définition et principes de base du semis direct	4
- Contrôle des adventices sous semis direct	5
- Equipement du semis direct et gestion des résidus	5
- Conduite des cultures sous semis direct	6
Evolution du semis direct à l'échelle mondiale	6
Développement technologique en semis direct	9
Expérience de la pratique du semis direct au Maroc : de la recherche au transfert de technologie.	12
Potentialités agronomiques du semis direct	13
Retributions environnementales du semi direct	17
Bénéfices socio-économiques du semis direct	20
Les limites de la technique du semis direct	21
Perspectives d'application du semis direct dans le contexte de l'Afrique du nord	24
Conclusions et synthèse générale	27
Références bibliographiques	29

INTRODUCTION

Cet article a été préparé conformément au programme de travail du Centre de développement sous-régional pour l'Afrique du Nord de la Commission économique des Nations pour l'Afrique (CDSR-AN/CEA) pour la période biennale 2000-2001, qui prévoit notamment la préparation d'une publication technique sur le thème du développement durable.

Il s'inscrit dans le cadre du mandat du Centre qui consiste entre autres à identifier des meilleures pratiques ou approches et des idées en matière de développement durable provenant de sa propre expérience et de celle des autres et à les propager afin que les Etats membres en prennent avantage là où il y a lieu.

L'objectif de cet article est de discuter les apports du système de semis direct dans la protection de l'environnement et la production agricole pour une fixation d'un développement rural durable en Afrique du Nord. Il présente ce système comme une révolution technique, socio-culturelle et écologique. C'est une révolution technique parce que le semis direct envisage l'élimination des labours et des autres préparations mécaniques des sols et préconise le maintien d'une couverture de résidus en surface. C'est une révolution socio-culturelle basée sur la renonce par les agriculteurs et les producteurs des pratiques anciennes ancrées dans leurs esprits et l'abandon d'outils souvent des signes de fierté. C'est une révolution écologique qui permet de réduire les pertes de sols, de sédiments, d'eau, des éléments nutritifs et des effets de serre (figure 1).

En Afrique du Nord, la ressource en eau constitue le facteur majeur limitant les développements agricole, économique et social. En effet, l'environnement physique dans cette région est caractérisé par une pluviométrie faible, aléatoire et agressive, mais aussi des sols généralement peu productifs et une couverture végétale très éparse. La forte croissance démographique et les insuffisances techniques, économiques et foncières obligent les agriculteurs à exploiter au maximum le disponible végétal. Cette pression sur la terre s'est traduite par le recours de plus en plus à la culture continue, l'utilisation des terres marginales et le surpâturage des parcours. Il en résulte une exploitation minière du milieu caractérisé par une diminution de la productivité et une dégradation des ressources naturelles (sol, eau et végétation). En effet, l'érosion des sols constitue un aspect majeur de la dégradation des paysages dans les environnements nord-africains (Griesbach, 1983 ; Merzouk, 1985 ; Halitim, 1988; Karmouni, 1988).

En Afrique du Nord, les sols sont extrêmement variés du fait de la diversité des substrats géologiques et des topographies mouvementées qui continuent à évoluer sous l'effet du climat et de l'homme (Kassam, 1981). Les sols y conditionnent l'agriculture et son avenir sous trois aspects : le maintien de leur existence (lutte contre l'érosion), l'amélioration de leur capacité de production (fertilité et qualité) et la mise en valeur de leur capacité productive par des pratiques appropriées.

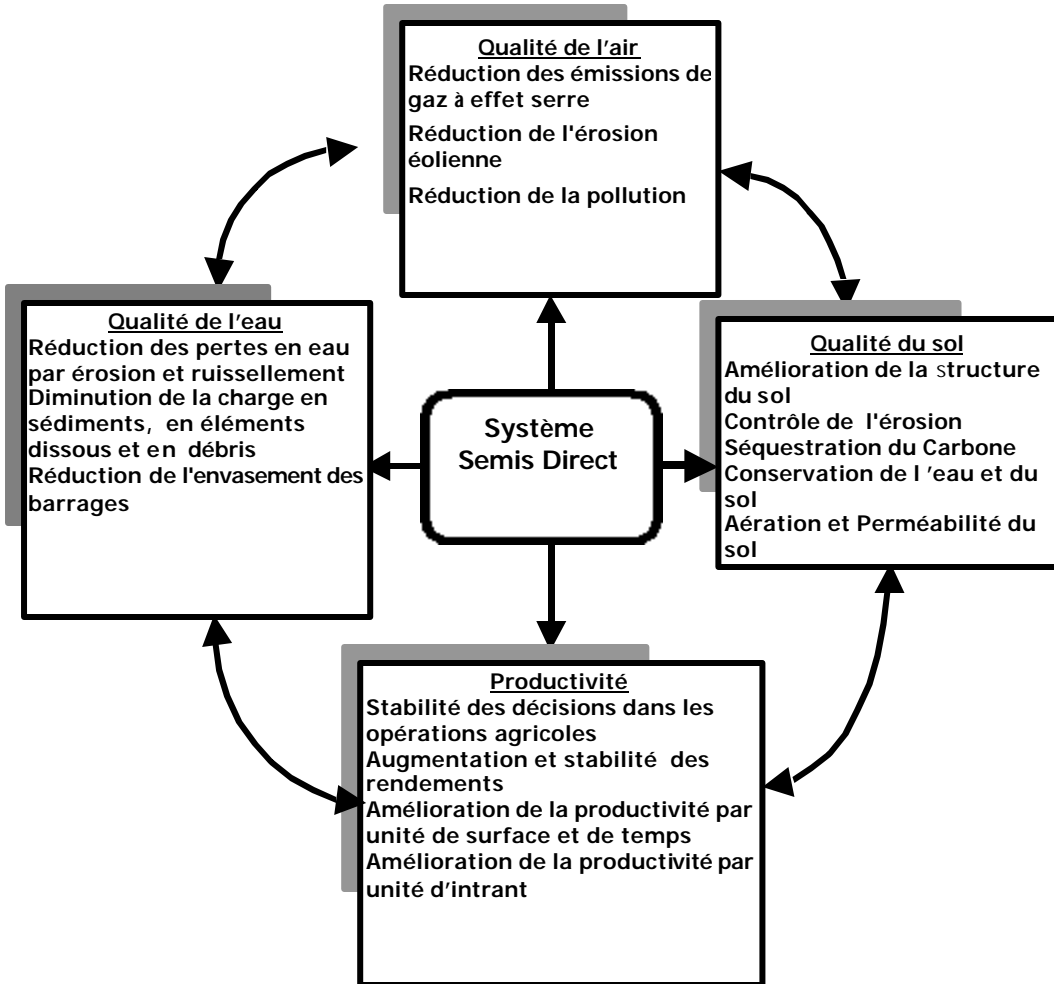


Figure 1: Relation système semis direct, composantes de l'environnement et décisions agricoles (Mrabet, 2001a).

Agriculture durable : une obligation pour les pays de l'Afrique du Nord

Le défi majeur des pays Nord africains est double: assurer une sécurité alimentaire pour une population à fort taux démographique et amortir la dégradation des ressources naturelles. Ces pays ont besoin, plus que jamais, de revoir leurs modes d'utilisation des terres pour assurer une sécurité alimentaire et un développement agricole durable.

En Afrique du Nord, l'agriculture demeure le principal secteur économique. Il est donc impératif de définir une stratégie de développement durable pour l'ensemble du

secteur agricole en visant une utilisation respectueuse des ressources naturelles. Le transfert de l'Europe vers l'Afrique du Nord des modes de gestion mécanisée des sols a eu des effets négatifs permanents, voire désastreux sur les ressources en sols. En plus, les sols semi-arides portent en eux-mêmes les germes de leur destruction: faible teneur en matière organique, faible stabilité structurale, forte densité apparente, tendance à la prise de masse et faiblesse des résidus en surface (Bourarach et Oussible, 1995). De ce fait, l'amélioration de la productivité, la protection des sols contre l'érosion et la restauration de leur fertilité nécessitent une gestion agrobiologique des systèmes de culture.

L'agriculture durable est un ensemble de techniques qui visent à pérenniser l'activité agricole dans ses milieux physiques, sociaux, économiques et environnementaux (Pieri et Steiner, 1997 ; Lamarca, 2000). Particulièrement, une agriculture qui ne compense pas les prélèvements et les pertes minéraux et de matières organiques ne peut être dite durable.

En effet, pour la majorité des systèmes nord-africains de mise en valeur agricole, l'intensification a permis à court terme des rendements élevés, mais à moyen et long-terme elle peut causer une mauvaise protection des ressources en sol, en eau et de la végétation, par conséquent, une diminution progressive des productivités jusqu'à des niveaux de déclin non remédiables. Ce déclin de la productivité contraint les agriculteurs à exploiter des terres marginales encore plus fragiles. Ces agriculteurs sont pris dans un engrenage qui contribue à aggraver les problèmes : faible productivité des sols - faibles rendements, faibles revenus, faibles apports d'intrants - baisse de rendements. En d'autres termes, la dégradation des ressources naturelles s'est traduite en une dégradation de la situation alimentaire qui se manifeste par la diminution du taux de couverture des besoins par la production.

Pour sortir de cet engrenage du déclin de la productivité, dans chacun des pays de l'Afrique du Nord, la problématique du développement agricole durable doit constituer une priorité stratégique nationale visant à la fois le développement économique, le progrès social, la lutte contre la pauvreté, et la durabilité globale du développement et des structures économiques et productives nationales.

La restauration de la qualité du sol et la gestion durable des terres, qui doivent se réaliser parallèlement, ne peuvent être résolues par une modification technique mais plutôt à travers l'adoption d'une stratégie entièrement nouvelle qui embrasse tous les aspects du problème et considère tous les constituants d'un développement agricole durable. Il faut que la stratégie envisagée prenne en compte des solutions écologiques, alimentaires, économiques et sociales. Pour ce faire, à travers le monde, il y a une nouvelle initiative qui accorde une attention particulière à renverser le processus actuel de dégradation des sols et à réaliser cet objectif double et antagoniste d'améliorer progressivement la production et de préserver l'environnement : c'est l'agriculture de conservation. Celle-ci doit reposer sur la suppression du travail du sol et la protection par une couverture végétale constituée de résidus et de pailles (Mrabet, 1993 ; 2001d). La fixation de cette agriculture contribuera à la durabilité des systèmes agricoles en Afrique du Nord.

DEFINITION ET PRINCIPES DE BASE DU SEMIS DIRECT

Avant de définir le semis direct, il est important de définir l'agriculture de conservation. L'agriculture de conservation se réfère à plusieurs pratiques qui permettent la gestion du sol pour des utilisations agraires altérant au minimum sa composition, sa structure et sa biodiversité naturelle et le préservant de l'érosion et de la dégradation. Cela implique le semis direct, les techniques culturales simplifiées ou labour de conservation, la non-incorporation des résidus de récolte et les couverts végétaux ou engrais verts. Les techniques de labour de conservation comprennent un gradient continu allant de la réduction du nombre d'outils aratoires jusqu'à l'élimination complète de toute action mécanique sur le sol.

En systèmes de labour de conservation, la perturbation ou la manipulation du sol doit respecter la présence d'un mulch d'au moins 30% de sol couvert et l'élimination de toute action de retournement ou mixage des horizons. Le maintien d'au moins 30% de la surface du sol couverte par des résidus végétaux lors de la mise en place de la culture suivante est généralement suffisant pour contrôler l'érosion hydrique, ce qui correspond à 1120 kg ha⁻¹ pour contrôler l'érosion éolienne. Il s'agit surtout de l'utilisation d'outils à dents ou à lames. La situation extrême est le zéro-labour ou semis direct (Sandretto, 2001).

Les objectifs du travail du sol sont l'enfouissement des débris et des résidus, l'ameublissement de la couche arable, l'ameublissement du sol au-dessous de la zone labourée ; la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes, des parasites et des maladies ; l'incorporation des amendements, des herbicides et des fertilisants, la formation du lit de semences ; la répartition de la terre fine et des mottes ; le nivellement du sol ; la correction de l'excès de porosité et le réchauffement du sol. Toutefois, l'ensemble de ces objectifs peut être réalisé sans travail du sol.

Le semis direct est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Dans le système de semis direct, les opérations se limitent à l'ensemencement de la culture. Le remaniement mécanique du sol est confiné à la seule implantation de la semence. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis et pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert.

Le semis direct est un paquet technologique qui repose sur quatre principes: 1). supprimer les labours; 2). couvrir en permanence le sol par une couverture morte constituée de résidus de récolte; 3). semer directement à travers cette couverture protectrice à l'aide d'outils appropriés et 4). contrôler les mauvaises herbes sans perturbation du sol. En fait, le système de semis direct vise à copier les écosystèmes naturels: il est basé sur une couverture de sol permanente et une perturbation minimale du sol. Ainsi, toute omission ou application défectueuse de l'un des quatre principes porte préjudice à la réussite du système de semis direct. A travers ces quatre principes, le semis direct permet d'une part le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols et la

productivité des systèmes culturaux et d'autre part l'optimisation des ressources et de la gestion de l'exploitation agricole.

Contrôle des adventices sous semis direct

Le système non labour ne peut être durable que par la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes (El Brahli et al., 1997). Les graines de mauvaises herbes enfouies ne sont pas exposées à la surface comme c'est le cas par les travaux du sol. La banque de graines de mauvaises herbes semble donc diminuer en semis direct. Rares sont les apparitions soudaines et tardives des mauvaises herbes car aucun travail du sol ne ramène les graines à la surface.

Un contrôle des adventices sévère est néanmoins important au cours des premières années de transition. Au cours de cette période, le taux d'infestation floristique et la levée des graminées annuelles ont tendance à augmenter surtout avec les cultures continues. Pour cela, il faut essayer d'envisager une démarche efficace pour la lutte contre les mauvaises herbes par la prévention, la compétitivité des cultures, la rotation des cultures et un désherbage chimique. Il est conseillé d'appliquer des herbicides résiduels à action foliaire et racinaire qui sont relativement peu coûteux, tels que les herbicides anti-dicotylédones qui permettent un contrôle adéquat des mauvaises herbes. En effet, ces herbicides sont caractérisés par leur rémanence dans le sol et leur large spectre d'action (El-Brahli et Mrabet, 2000).

Equipement du semis direct et gestion des résidus

Pour réussir la conduite du non-labour, il est essentiel de disposer de semoirs adaptés. Le semis est réalisé à l'aide d'un semoir spécial qui peut semer et déposer les engrais dans un sol non perturbé et couvert de résidus de récolte. Il est doté de coutres pour couper les résidus et préparer des bandes étroites de sol qui facilitent le contact semence-sol. Plusieurs types de semeurs existent, et celui à soc est conseillé pour des semis précoces sur sols secs (Bourarach et al., 1998). Ainsi, pour les conditions semi-arides nord-africaines où les sols au moment du semis sont secs, le semoir semis direct à soc permet à la fois de creuser un sillon et d'y déposer les semences à des profondeurs opportuns. Des roues de tassement servent à remplir le sillon, assurer un bon contact semence-sol et contrôler la profondeur de semis. En effet, la précision de placement de la semence et de l'engrais est la clé du succès. Le semoir est aussi équipé d'un système d'emplacement des engrais (Mrabet, 2001a).

La gestion des résidus est primordiale pour la réussite du semis direct. L'interaction entre la vigueur de la plante et la qualité de la gestion des résidus est la clé de la réussite de l'installation des cultures. Un niveau élevé de résidus en surface peut causer des levées réduites et un début d'enracinement faible. La protection de la surface du sol contre les agents climatiques (pluie, vent, température et radiation) n'est assurée que par un niveau convenable de paillis en surface. Ainsi, on ne peut prétendre introduire le semis direct tout en exportant la totalité des résidus de récolte.

Conduite des cultures sous semis direct

Le semis direct doit être considéré comme un système et non pas comme une simple méthode de préparation du terrain. Pour que ce système soit efficace, il faut introduire la rotation des cultures, c'est-à-dire l'utilisation dans le temps et dans l'espace d'une séquence de cultures. La rotation des cultures est fondamentale pour la durabilité des systèmes de semis direct.

Le semis direct est un nouveau système d'exploitation du milieu. Il faut l'intégrer dans des systèmes de culture qui permettent d'optimiser la gestion des ressources naturelles et l'ensemble des facteurs de production dans les exploitations. Les modalités de mise en œuvre du semis direct sont très diverses, et dépendent en premier lieu des conditions climatiques de la zone concernée. Plus la pluviométrie est importante, plus les modalités sont nombreuses et diversifiées. En plus, au cours du temps, beaucoup de modifications ont eu lieu pour réussir au maximum l'adaptation du semis direct. Ceci a permis de développer différents systèmes de semis direct selon les exigences agricoles et édaphiques. A cause de ces développements, le semis direct a été réussi dans plusieurs cultures. D'abord appliqué au maïs, le semis direct avec conservation de résidus gagne d'autres cultures, à commencer par le soja et les céréales à petites graines (blé d'hiver, orge...), puis le cotonnier, le sorgho, le tabac, les légumes et l'arachide et les cultures d'hiver (blé, trèfle, vesce, et seigle).

EVOLUTION DU SEMIS DIRECT A L'ECHELLE MONDIALE

Le principe du semis direct sur couverture végétale est loin d'être nouveau. Déjà, le semis direct existe depuis le début de l'histoire de l'agriculture et reste la base des systèmes agricoles de plusieurs civilisations.

Les premiers à avoir développé des systèmes de semis direct semblent être les Indiens qui vivent depuis des siècles dans les forêts tropicales humides des Amériques et les Egyptiens du delta du Nil. Les habitants de ces régions ont donc développé des systèmes de semis à travers des couvertures mortes où la culture puise ses nutriments dans le mulch en décomposition (Raunet et al., 1999 ; Séguy et Bouzinac, 1999). C'est l'histoire des techniques de semis direct, ou comment passer des systèmes destructeurs de la ressource sol, hérités du transfert Nord-Sud de technologies, solidement ancrées dans les pratiques traditionnelles, à des systèmes de gestion durable qui éliminent toute perturbation de cette ressource.

Le début du développement de l'agriculture de conservation et des systèmes de semis direct remonte aux années 1930, lorsque les grandes plaines des Etats Unis d'Amérique ont connu une érosion éolienne qui a causé des dégâts considérables. L'expérience américaine a eu un très grand impact, d'abord auprès des agriculteurs du pays-même, puis à l'extérieur. Les techniques mises au point aux Etats-Unis vont se diffuser dans d'autres pays de la zone tempérée comme le Canada, et gagner les pays de la zone tropicale (notamment le Brésil, l'Argentine, le Chili, le Paraguay, et l'Uruguay).

C'est à partir des Etats Unis que les nouvelles techniques de semis direct ont été connues au Maroc. Ces nouveaux systèmes d'exploitation du milieu ont alors connu un développement considérable dans d'autres pays, particulièrement l'Australie. Depuis, le semis direct sur couverture végétale sous ses formes modernes se diffuse à travers le monde, soit de façon spontanée, soit sous l'égide de la recherche-développement, avec des succès très variables selon les contextes. Le semis direct concerne particulièrement, l'Amérique du nord et du sud et l'Australie (figure 2). Néanmoins, Selon Benites et al. (1998) et Steiner (1998), le semis direct est déjà pratiqué dans plusieurs pays africains (Angola, Bénin, Kenya, Mozambique, Niger, Afrique du sud, Tanzanie, Zambie et Zimbabwe). Particulièrement, au Ghana, 30000 hectares sont semés sans labour (Derpsch, 2001).

Selon le tableau 1, on peut conclure: 1. Le semis direct est en extension exponentielle à travers le monde et dans des écologies diversifiées, 2. le semis direct est adapté à la plupart des cultures et espèces végétales et 3. la diversité des climats et des sols où est développé le semis direct montre qu'il ne semble pas y avoir de limite technique à une extension de ce système en Afrique du Nord.

Les pays comme le Brésil, l'Argentine, le Paraguay, l'Uruguay et le Chili avaient, en 1987, seulement 0.87 millions ha en semis direct et totalisent 23,7 millions ha en 13 ans (Derpsch, 2001). Selon, Pavei (1998) le système de semis direct couvrira en peu de temps la majorité des propriétés agricoles en Brésil. En Amérique du Sud, le semis direct est pratiqué de la Patagonie à l'Amazonie. La surface occupée par les techniques de semis direct dans le monde, est passée de 2.83 millions d'hectares en 1973/74 à 58.11 millions d'hectares en 1999/2000 et a dépassé les 60 millions ha en 2000/01. Aux Etats Unis., le semis direct représente 16% de la surface totale cultivée, 7% au Canada, 25% au Brésil, 37% en Argentine et 52% au Paraguay.

L'agriculture de conservation et donc le semis direct est à présent peu développée en Europe (estimée entre 1 et 2 % des terres agricoles). Actuellement, la France et l'Espagne doivent être les deux pays en Europe où ces techniques sont les plus étendues avec respectivement environ 1 et 0.6 millions d'hectares de cultures annuelles en techniques de conservation en 1998. Néanmoins, la validité de ces méthodes dans la plupart des situations agricoles Européennes a déjà été démontrée (ECAAF, 1999). En réalité, aucun autre système depuis l'ère de l'agriculture moderne et intensive, n'a été capable de conquérir un espace aussi considérable en si peu de temps (Baker et al., 1996). Le secret de l'adaptation du semis direct à tant de milieux ambiants est qu'il permet l'optimisation de plusieurs facteurs simultanément à savoir le temps, l'usage des intrants, de la main d'œuvre et de l'énergie et en même d'imiter et de respecter l'environnement.

Il est donc clair, que le semis direct est adapté et développé pour beaucoup de conditions socio-économiques et agro-climatiques sur les cinq continents, avec plus de succès encore dans des pays en voie de développement et dans les secteurs très dégradés des pays en voie de développement et développés. Il existe un énorme potentiel pour l'utilisation du semis direct comme technologie de conservation des sols en Europe, mais aussi et surtout, en Afrique et Asie où ce mode de gestion conservatoire

de la ressource sol constitue une garantie de lutte durable contre la pauvreté (Derpsch, 2001).

Toutefois, seulement 4 % des terres cultivées dans le monde le sont selon les principes de semis direct.. Plusieurs organisations (ACT, ECAF, ...) récemment constituées par des associations nationales ont pour objectif essentiel d'encourager et de diffuser les techniques de semis direct.

Tableau 1. Evolution dans le temps des superficies (en millions d'hectares) sous semis direct dans le monde (Derpsch, 1999 ; 2001; FAO, 2001).

Année	USA	Canada	Brésil	Argentine	Australie	Autres	Total
1973/74	2.2	0	0.001	0	0.1	0.53	2.83
1983/84	4.8	0	0.4	0	0.4	0.66	6.26
1996/97	19.4	6.7	6.5	4.4	1.0	1.70	39.70
1999/00	19.8	4.1	13.5	9.2	8.4	2.92	58.11

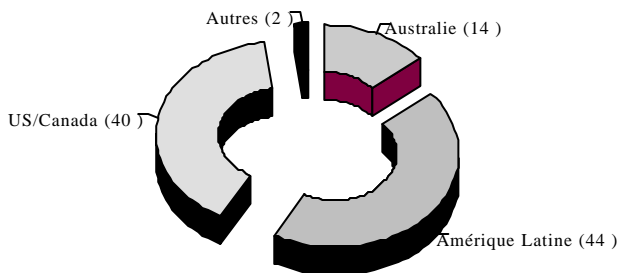


Figure 2: Importance relative (%) du semis direct dans le monde en 1999/2000 (Derpsch, 2001).

DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE EN SEMIS DIRECT

En face d'un double défi de concilier la production et l'environnement, le semis direct a connu un développement technologique remarquable au cours du temps (Fowler, 1995). Ce développement technologique a concerné la gestion des résidus à la récolte et au moment du semis (distribution spatiale des résidus), l'implantation des cultures (profondeur du semis, contact sol-semence, conditions de germination et de levée), fertilisation de fond (positionnement des engrais) et les pratiques de désherbage (type d'herbicide, dose et application).

Les techniques de semis direct sont compatibles avec tous les types de mécanisation, du simple outil à main aux machines utilisant l'agriculture de précision. A partir des années 40, la recherche agronomique aux Etats-Unis a réinventé le principe de semis direct en introduisant de nouvelles technologies (semoirs de précision, herbicides...). C'est en 1962, que les nouvelles techniques de semis direct sur couverture végétale ont commencé à être pratiquées en vraie grandeur, après une phase expérimentale et pionnière de vingt ans. Depuis lors, le progrès a pris de la vitesse.

Tableau 2: Caractéristiques des coutres (CPVQ, 2000)

Coutre	Actions	Remarques
Lisse	Coupe les résidus et le sol	Une seule action, coupe très bien Plus le diamètre est grand, mieux il travaille
Crénélé	Coupe les résidus et le sol	Coupe très bien Rotation plus aisée
Gaufré	Coupe les résidus et le sol Sert surtout au placement des fertilisants	Bande étroite Coupe très bien mieux que coutre lisse Rotation plus aisée Aiguillage non nécessaire
A bulles	Coupe les résidus Ouvre légèrement le sol	Excellent dans sols sableux et limono-loameux Coupe très bien, convient à sols durs avec beaucoup de résidus Compaction ou risque de lissage des sols argileux
Ondulé (13 ondulations de 2.5 cm)	Coupe les résidus Ouvre le sol plus que le coutre à bulles Dégage légèrement les résidus Présente certaine agressivité	Excellent dans sols limoneux, limono-sableux et loameux Coupe bien Pas de compaction dans sols argileux Ouvre plus le sol que le coutre à bulles
Ondulé (8 ondulations de 5 cm)	Coupe les résidus et ouvre le sol Très agressif Dégage beaucoup les résidus	Aucune compaction Ecarte bien les résidus Peut projeter le sol à l'extérieur du sillon si placé vis-à-vis du semeur
Ondulation recourbée	Excellente pénétration Coupe les résidus	Performant pour couper les résidus tout en travaillant bien le sol

Plusieurs facteurs sont à l'origine du développement de ces techniques. Le premier facteur qui a aidé au développement du semis direct est d'ordre environnemental. Le second facteur qui a contribué au développement du semis direct

est l'apparition des herbicides chimiques. En effet, leur découverte et leur sortie sur le marché ont permis de remettre en question les objectifs assignés au labour, particulièrement le contrôle des adventices.

La commercialisation par ICI en 1960 de deux herbicides desséchants non rémanents totaux de contact (paraquat et diquat) a considérablement aidé dans l'extension du semis direct. Par la suite, les innovations dans le domaine des herbicides ont été nombreuses, avec notamment la mise au point du glyphosate et l'apparition de nouveaux herbicides de pré-levée ou pré semis de plus en plus sélectifs qui permettent de perfectionner la lutte contre les adventices (sulfonylurées). Actuellement, l'agriculteur dispose d'une variété d'outils technologiques qui lui permettent de faire face au contrôle des adventices avec efficacité, à travers les herbicides et les pratiques culturales (rotations).

Le troisième facteur est la fabrication en 1961, par la firme Allis-Chalmers, du premier semoir pour semis direct en traction motorisée. Un semoir semis direct est généralement composé de trois types d'organes: organes ouvreurs ou coutres, organes semeurs et roues tasseuses. Les roues tasseuses ont pour rôles de couvrir (fermer) le sillon, limiter la profondeur de semis et améliorer le contact sol-graine. Ce sont les éléments de finition du lit de semis.

Une grande variété de coutres est disponible. Ils coupent, ouvrent le sol, dégagent les résidus et aident au travail des organes semeurs et au placement des engrais. Ils sont généralement de forme circulaire. Ce disque peut être lisse, denté (ondulé), gaufré, à bulles, ou crénelé. Les caractéristiques des coutres et leurs conditions d'application sont explicitées dans le Tableau 2.

Tableau 3: Avantages et inconvénients des semeurs directs (Mrabet, 2001a)

Semoir à socs		Semeurs à disques ¹	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de la profondeur de semis • Pénétration en conditions de sol sec et dur. • Bon contact sol-semence. • Bon tassement. • Meilleur emplacement des engrais. • Utilisation en conditions de terrains difficiles :sols caillouteux, rugueux, en pente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin de force de traction élevée. • Poids élevé (transport) • Grande manipulation ou perturbation du sol (écartement faible). • Bourrage en sols couverts de grandes quantités de résidus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Positionnement uniforme des semences si les résidus sont bien répartis en surface. • Moins de manipulation du sol. • Bon tassement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inopérant en conditions de fortes quantités de résidus en surface : mauvais contact sol-graine et semis superficiel. • Disques sont plus chers. • Masses alourdissant pour pénétrer facilement (surtout en sec)/

¹ simple, double et triple disques.

Selon l'organe semeur, le semoir direct peut être classé en semoir à disques ou à socs. Le tableau 3 donne les avantages et les inconvénients de chaque type de semeur. Il existe également des semoirs directs équipés d'un dispositif pneumatique pour l'injection des semences dans le sol. Du fait que les semoirs directs doivent sectionner des résidus de récolte et des racines pour pénétrer efficacement le sol, une des différences les plus importantes par rapport aux semoirs conventionnels est leurs poids.

La réduction du nombre de passage des éléments aratoires et le remplacement successif des outils de labour et de préparation du sol par des herbicides ont permis une amélioration de la conservation de l'eau en fonction du temps aux Etats Unis d'Amérique comme indiquée dans le tableau 4.

Tableau 4. Evolution de l'efficience de stockage de la jachère en fonction des changements de la gestion du sol aux Etats Unis d'Amérique (Greb, 1979).

Gestion du sol	Période d'utilisation	Nombre de passage des outils aratoires	Efficience de la Jachère (%)
Travail du sol intensif Charrue à soc et pulvérisateurs.	1915-30	7 à 10	16 à 22
Travail du sol conventionnel Charrue à disque, pulvérisateurs, rodweeder	1931-45	5 à 7	20 à 24
Travail du sol conventionnel modifié charrue à disque, Chisel, rodweeder.	1946-56	4 à 6	24 à 27
Travail du sol minimum au sweep et rodweeder.	1957-70	4 à 6	27 à 33
Minimum tillage et application des herbicides.	1968-77	2 à 3	33 à 38
Non labour herbicides uniquement.	1975-77	0	45 à 55

Définit comme étant le pourcentage des précipitations stockées dans le sol

EXPERIENCE DE LA PRATIQUE DU SEMIS DIRECT AU MAROC : DE LA RECHERCHE AU TRANSFERT DE TECHNOLOGIE.

Pour arriver à une agriculture pluviale compétitive et durable, les chercheurs du Centre régional de la recherche agronomique de Settat ont testé le système de semis direct dans le besoin de la fixer, de l'intensifier et de la diversifier, tout en entretenant la fertilité du sol, et ceci dans des contextes de forts risques écologiques et économiques. En fait, la technique de semis direct est encore au stade d'essai au Maroc. En 1983, INRA Aridoculture a commencé les recherches sur les techniques de production pour les zones 200-450 mm pour voir la nécessité des labours primaires et des préparations des lits de semences pour céréales et comment accroître la production en grain voire la stabiliser vis-à-vis des aléas climatiques. Donc, pour répondre à ces deux questions, des essais de longue durée sur le semis direct dans des rotations du blé ont été installés à Sidi El-Aydi (chaouia) et Jemaa shaim (abda) (Bouzza, 1990 ; 1992 ; Mrabet et al., 1993).

Dès 1987, d'autres questions se sont posées ; à savoir l'applicabilité du semis direct pour d'autres cultures que le blé. Ainsi, d'autres rotations et cultures ont été étudiées sous non-labour (Kacemi, 1992 ; Kacemi et al., 1995).

En 1990, il y avait le besoin de développer et fabriquer des semoirs directs pour les conditions de sols et climatiques marocaines. Il y avait ainsi l'idée de développer une industrie de semoir direct au Maroc pour servir le sud méditerranée (Bouzza, 1992 ; Dahane, 1992).

En 1994, d'autres études étaient nécessaires sur la diversification des cultures et l'intensification du blé à travers les rotations triennales, la stratégie de contrôle des mauvaises herbes à travers une variété d'herbicides (résiduels et sélectifs), la gestion des résidus de récolte, et l'intégration élevage-agriculture (Mrabet, 1997 ; 2000a).

En 1994 et puis 1997, des essais chez les agriculteurs de la Chaouia ont été installés pour la confirmation des résultats et un début de transfert de la technologie du semis direct (El-Brahli et al., 1997 ; 2000 ; 2001).

Durant ces longues années de recherche à INRA il y a eu une accumulation et une évolution des connaissances agronomiques, sur le comportement du sol, sur la conduite des cultures, et sur la gestion des résidus et des herbicides en conditions de semis direct. L'INRA possède des essais de long-terme de 19, 15 et 8 ans (Mrabet, 2001d).

Le semis direct a aussi été étudié depuis 1987 par d'autres établissements d'enseignement supérieur pour définir son applicabilité dans des conditions climatiques différentes, souvent plus favorables (à savoir le Gharb, Zaër et Saï s) (Bourarach, 1989 ; Bourarach et Oussible, 1995 ; Aboudrar et El Quortobi (2001)).

En 2001/02, beaucoup d'efforts pour une dissémination plus large du semis direct sont consentis par les institutions de développement en collaboration avec INRA et les institutions d'enseignement supérieur agricoles (Mrabet et al., 2001b).

POTENTIALITES AGRONOMIQUES DU SEMIS DIRECT

Avec le labour, les rendements du blé sont, non seulement beaucoup plus bas qu'en semis direct, mais extrêmement fluctuants d'une année sur l'autre. Les essais effectués confirment qu'un travail du sol minimal ou même l'absence de travail du sol n'entraîne quasiment aucune perte de rendement malgré le taux de levée souvent réduit (Tableaux 5 et 6). Les résultats d'essais chez des agriculteurs montrent que le zéro-labour permet généralement des rendements de blé largement plus élevés à ceux obtenus à l'aide de façons culturales conventionnelles (El-Brahli et al., 2000 et 2001 ; Tableau 7).

Dans les conditions climatiques de Sidi El Aydi, les travaux menés par Bouzza (1990) et Mrabet (2000a) montrent que, comparativement au labour conventionnel, le semis direct sur mulch permet d'augmenter la quantité d'eau disponible pour le blé. En effet, sous semis direct, il y a une meilleure utilisation de l'eau que sous les autres types de travaux du sol (Tableau 6). L'eau conservée après jachère chimique (jusqu'à 80 à 100 mm) fournit un appoint pour l'alimentation hydrique du blé en fin de cycle souvent sec (Bouzza, 1990 ; Mrabet, 2001c). La jachère chimique permet un stockage plus important qu'une jachère travaillée conventionnellement ou de façon simplifiée et ceci au Maroc, aux Etats Unis et en Australie (Mrabet, 2001a, figure 3).

En milieu semi-aride marocain, le stockage de l'eau de pluie est amélioré de 10 à 30 % par rapport aux techniques traditionnelles et la production du blé en bénéficie largement (quantitativement et qualitativement). Ainsi, le système jachère chimique est stable et permet une production régulière dans le temps malgré les aléas climatiques (Mrabet, 2000b, Tableau 5).

Les systèmes de jachère améliorés et le semis direct dans un mulch ouvrent des voies intéressantes pour une agriculture durable préservatrice de l'environnement et peu coûteuse en main d'œuvre et en intrants (El-Brahli et Mrabet, 2000).

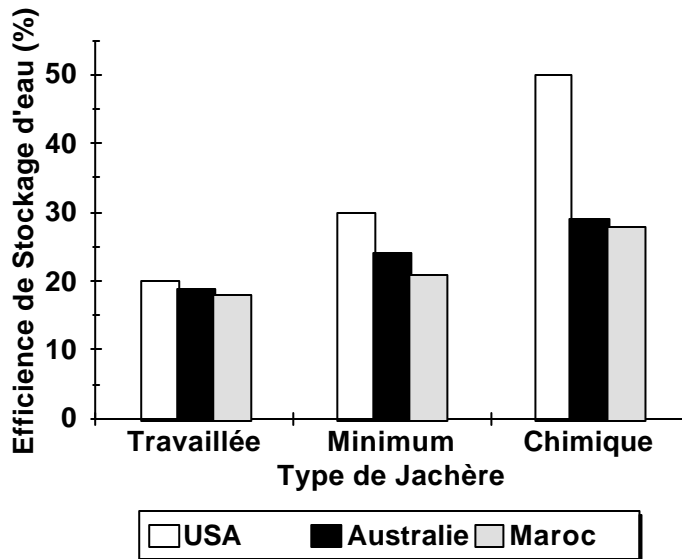


Figure 3. L'efficacité de stockage d'eau en fonction de la gestion de la jachère en milieu pluvial américain, australien et marocain (efficacité de stockage de l'eau est le rapport entre l'eau stockée dans le sol et le total des pluies reçues) (Mrabet, 2001a).

Dans les zones favorables Marocaines (région de Meknès), Aboudrare et El Quortobi (2001) ont montré que la technique du semis direct est performante aussi bien en année sèche qu'en année humide. En année sèche les gains de rendements ont varié de 53 % à 155 % par rapport au travail profond.

Tableau 5. Effet de la rotation céréalière et du travail du sol sur le rendement du blé tendre en Qx ha⁻¹ (Bouzza, 1990; Mrabet et al., 1993; Mrabet, 2000b).

Type de labour	Sidi El Aydi ^a		Jemaa Shaim ^b	
	Blé-Blé	Blé-Jachère	Blé-Blé	Blé-Jachère
Non-Labour	19	35	17	30
Labour Minimum	16	34	15	30
Labour Conventionnel	14	24	16	24

^a Rendement grain moyen 1983-1992 sur sol argileux, Vertisol, total des pluies 370mm.

^b Rendement grain moyen 1983-1998 sur sol argileux, Vertisol, total des pluies 270mm.

Tableau 6. Effet du travail du sol sur le rendement du blé tendre et l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) à Sidi El Aydi (Blé continu, 1995-1999) (Mrabet, 2000a)

Travail du sol	Rendement Grain (Qx/ha)	EUE (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)
Semis direct	24.7	7.1
Chisel	24.1	7.1
Charrue à disques	23.6	6.6
Rotavator	20.9	5.9
Pulvériseur à disques	19.7	5.8
Traditionnel	19.3	5.4
Sweep	19.1	5.9
Moyenne	22.0	6.4

Tableau 7. Rendement grain du blé (Qx/ha) chez deux agriculteurs pratiquant la rotation blé-pois chiche-jachère (El Brahli et al., 2000 ; 2001).

Année	Ouled Said			Settat		
	Semis Direct	Labour	Pluie (mm)	Semis Direct	Labour	Pluie (mm)
1997-98	26	21	300	30	19	320
1998-99	22	2	200	33	10	230
1999-2000	8	0	150	12	0	180
2000-01				14	8	220
Moyenne	19	8		22	9	

Le degré d'humidité du sol est souvent un facteur limitant très important dans la productivité de l'agriculture. Il a été largement rapporté par beaucoup d'auteurs que les techniques de conservation basées sur le semis direct augmentent le taux d'humidité dans le profil du sol en comparaison avec les techniques conventionnelles.

La couverture morte permet de limiter l'évaporation du sol. En effet, la présence d'un mulch en surface limite la remontée par capillarité de l'eau contenue en profondeur du sol. Les résultats publiés dans Mrabet (1997) montrent que (1) l'évaporation du sol en non-labour avec mulch est inférieure à une large gamme de type de labour et (2) la température de la surface du sol diminue sous mulch et non-travail du sol. Mrabet (1997) a montré que la non manipulation du sol et le maintien d'un couvert végétal aident à prolonger la durée de dessèchement de la surface et gardent le sol plus humide une période de temps plus longue (Figure 4).

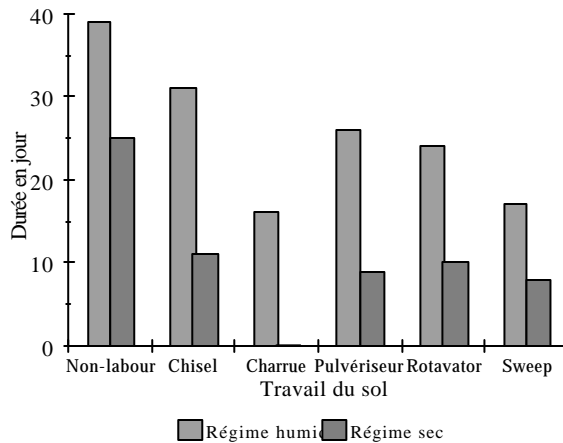


Figure 4 : Durée en jours nécessaire pour atteindre le point de flétrissement à l'horizon (0-10 cm) en fonction du type de travail du sol et pour deux régimes hydriques (humide : apport d'eau de 77 mm et sec : apport d'eau de 35 mm). L'humidité au point de flétrissement est de 0.16 g g⁻¹ (Mrabet, 1997).

Les conditions de surface des sols en semis direct présentent des humidités et des caractéristiques hydrodynamiques favorables à l'absorption des pluies (surtout automnales). Ces conditions hydriques en zones de semis permettent ainsi des semis précoces très recommandés en Afrique du nord. En d'autres termes, les pratiques de semis direct permettent de décider avec une plus grande souplesse, du calendrier des semis, mieux adapté au calendrier climatique.

C'est une technique agricole de conservation qui permet aux agriculteurs d'accroître leur production et de préserver leurs ressources naturelles - en consacrant moins de temps à la préparation du terrain. En effet, le temps consacré par les agriculteurs à la préparation du sol fait que la culture est souvent semée bien après la date optimale. Elle permet de supprimer l'une des causes principales des faibles rendements, c'est à dire le semis tardif.

En conditions d'agriculture traditionnelle, le calage du cycle de la culture avec le cycle des pluies nécessite un travail du sol à sec ou juste après les premières pluies. Selon Bouzza (1990) et Bourarach (1989), le travail du sol à sec occasionne des pertes d'énergie et il n'améliore pas la production. Le travail du sol après les pluies est généralement difficile à réaliser et nécessite des interventions de machines en conditions hydriques qui engendrent des états de lits de semences inadéquats pour l'installations des cultures.

En plus des effets bénéfiques sur la partie aérienne des cultures (grain et biomasse), l'application du semis direct n'affecte pas le développement du système racinaire fasciculé sauf dans des types de sol extrêmement dur et prenant en masse.

RETRIBUTIONS ENVIRONNEMENTALES DU SEMIS DIRECT

Il existe une interdépendance évidente entre l'agriculture et l'environnement. Aux Etats-Unis et au Brésil, l'élément environnemental a été le déclencheur du développement du semis direct sur couverture végétale. Mais comment faire prendre conscience des problèmes d'environnement à des agriculteurs déjà en situation précaire, comme c'est le cas des pays de l'Afrique du Nord.

Dans les pays de l'Afrique du nord, l'érosion hydrique et éolienne sont des phénomènes largement répandus et qui ne cessent de s'accroître à cause des actions anthropiques, particulièrement le labour, le pâturage et le déboisement. L'intensification de l'agriculture conventionnelle (augmentation de la mécanisation et du labour) durant ces cinq dernières décennies a contribué à cette tendance, augmentant le risque de désertification dans la plupart des régions vulnérables.

Les techniques de semis direct sont bénéfiques pour l'environnement à plus d'un titre. Pour assurer un éco-développement durable dans ces pays, le semis direct permet de restituer la fertilité du sol et de lutter voire contrôler les formes d'érosion. Si la destruction de la matière organique des sols soumis à des modes de gestion conventionnelle, peut être très rapide, sa reconstruction peut progresser aussi rapidement en semis direct.

La couverture végétale, crée un environnement dans lequel les variations climatiques sont amorties, en termes de température et d'humidité. En période sèche, la couverture fait barrage à l'évaporation, l'humidité résiduelle de la saison des pluies est maintenue. En période pluvieuse, elle évite le ruissellement, favorisant le drainage de l'eau. Cet effet tampon permet de maintenir la production à un bon niveau d'une année à l'autre. Elle constitue aussi une protection contre les différentes formes de dégradation physique du sol. En limitant l'impact des gouttes de pluie et en freinant le ruissellement, la couverture supprime pratiquement les risques d'érosion hydrique. La simplification des façons culturales liées au semis direct diminue la compaction qui affecte de nombreux sols en culture en Afrique du Nord.

En semis direct, les érosions hydrique et éolienne sont réduites de 50 à 90 pour cent. Cette baisse de migration des sédiments vers les cours d'eau constitue des économies substantielles. Ces sédiments chargés d'éléments fertilisants (le meilleur de nos sols) constituent une perte nette pour l'agriculteur et représentent un coût énorme en traitement d'eau et en re-conditionnement des cours d'eau.

Le zéro-labour est l'une des techniques utilisées dans l'agriculture de conservation, qui vise à renforcer et à maintenir la production agricole en préservant et en améliorant les ressources en sols et en eaux ainsi que les ressources biologiques. En substance, cette technique permet aux micro-organismes et à la faune d'assurer le travail du sol et l'équilibre des éléments nutritifs - un processus naturel perturbé par le labour mécanique. Mrabet et al. (2001a) ont trouvé que le semis direct séquestre 13.6% de carbone après 11 ans de son adoption dans un sol argileux. Bessam et Mrabet (2001) ont trouvé que le taux de matière organique évolue de façon remarquable sous semis

direct en fonction du temps, alors que sous travail classique, le sol garde sensiblement les mêmes taux (Tableau 8). Cette part de la fertilité gratuite construite en semis direct permet d'augmenter la productivité des cultures avec moins d'engrais minéral et d'accroître le potentiel du sol. En effet, Mrabet et al. (2001c) ont trouvé que les niveaux de phosphore, azote et potassium s'améliorent en semis direct par rapport au conventionnel (Tableau 9).

Un sol non travaillé retrouve un nouvel équilibre biologique au bout de quatre à cinq ans (Tableau 8). Une structure stable s'établit sur la couche arable. Alors que sous labour classique, la structure souhaitée est créée par un travail mécanique, en semis direct, elle repose sur l'activité biologique des sols.

Le semis direct limite l'érosion et le tassement du sol tout en lui conservant son humidité. En outre, il stimule l'activité biologique du sol, réduit la battance, et améliore la praticabilité des parcelles. Ce type de système peut favoriser un recyclage d'éléments minéraux et leur concentration dans les horizons de surface du sol. Il résulte de ces différents mécanismes que le semis direct permet une bonne gestion de la fertilité du sol qui est une des conditions premières de la durabilité des systèmes de culture (Mrabet et al., 2001c)

Tableau 8. Effet du système de travail du sol sur le carbone organique du sol en fonction du temps (Bessam et Mrabet, 2001).

Travail du sol	Horizon (mm)					
	0-25		25-70		70-200	
	MO ₁ ^a	MO ₂ ^b	MO ₁ ^a	MO ₂ ^b	MO ₁ ^a	MO ₂ ^b
Non labour	2.31	1.80	1.42	1.30	1.23	1.10
Labour classique	1.45	1.43	1.45	1.21	1.22	1.02
Moyenne	1.88	1.61	1.43	1.25	1.22	1.06

^a MO₁ = Carbone organique après 11 années d'expérimentation (%).

^b MO₂ = Carbone organique après 5 années d'expérimentation (%).

Tableau 9: Effets du système de travail du sol sur le niveau de phosphore, potassium et d'azote dans les horizons de surface d'un sol calcimagnésique caractéristique du semi-aride Marocain (Mrabet et al., 2001c).

Profondeur des horizons (mm)	Non-labour	Labour conventionnel	Moyenne
Azote Total (g kg⁻¹)			
0 – 25	1.84	1.33	1.59
25 – 70	1.49	1.34	1.41
70 - 200	1.20	1.20	1.20
P assimilable (mg kg⁻¹)			
0 – 25	29.9	18.0	23.9
25 – 70	19.3	16.5	17.9
70 - 200	8.7	10.9	9.8
K échangeable (mg kg⁻¹)			
0 – 25	476	284	380
25 – 70	292	257	274
70 - 200	149	178	163

L'augmentation et la séquestration de la matière organique en surface accroît la résistance des micro-agrégats et la protection des MO. Ces MO augmentent la stabilité des agrégats où elles se trouvent, et les agrégats plus stables, à leur tour, protègent les MO qui y sont incorporées, établissant ainsi des relations cause à effet entre la dynamique de la MO et l'agrégation (*autorégulation et autoprotection*). Avec le temps, la surface d'un sol en semis direct se transforme en tapis vivant qui reste praticable même en conditions défavorables (Figure 5).

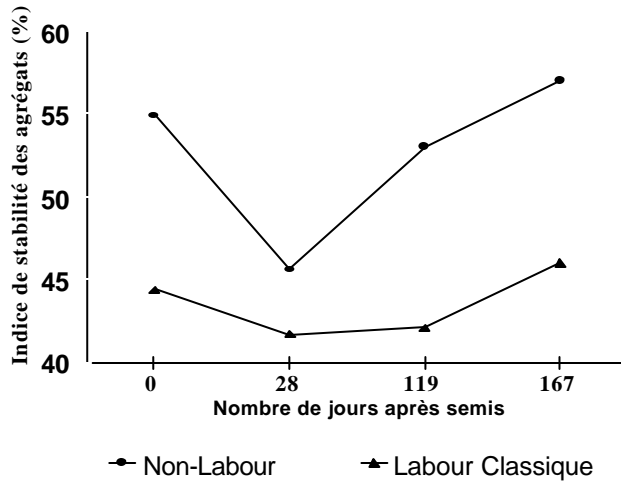


Figure 5. Effet du système de travail du sol sur l'agrégation du sol en surface (0-5 cm) au cours du temps (Lahlou et Mrabet, 2001).

En plus de la question essentielle à résoudre au niveau mondial qui concerne la préservation à long terme du potentiel de production du sol pour répondre à la demande croissante d'aliments, se pose aussi la question fondamentale relative à la gestion des pollutions produites par l'activité agricole sur l'environnement, et en particulier, l'impact causé par le travail intensif du sol qui rejette plus de gaz carbonique vers l'atmosphère, alimentant ainsi de manière significative l'effet de serre.

L'agriculture conventionnelle (brûlage des pailles, travail profond du sol, préparation des terres...) produit des émissions directes de CO₂ vers l'atmosphère, réduit l'effet de fixation de CO₂ par le sol et contribue au réchauffement global de la planète. Des estimations issues de récents travaux de recherche (Lal et al., 1995; IPCC, 1995) ont montré que le volume de CO₂ émis vers l'atmosphère contribue pour 50% sur l'effet de serre, et que l'activité agricole représente quant à elle plus de 23% du total émis. Reicosky (1996 ; 2001) a rapporté que le labour est le premier mécanisme responsable de l'émission du CO₂ à partir du sol. Inversement, l'agriculture de conservation maîtrise ces effets.

L'avantage écologique des semis direct est d'augmenter la production de biomasse et l'accumulation de matière organique dans le sol et de jouer ainsi un rôle positif dans la fixation du carbone et son bilan à l'échelle de la planète. Les études de Reicosky (1996 ; 2001) suggèrent également que le semis direct peut contribuer à réduire les niveaux de gaz « à effet de serre » responsables du changement climatique: les sols dans les systèmes de semis direct émettent dans l'atmosphère jusqu'à huit fois moins de dioxyde de carbone que les sols labourés.

BENEFICES SOCIO-ECONOMIQUES DU SEMIS DIRECT

Le volet économique des techniques de semis direct est un autre facteur important à prendre en compte.

Jusqu'à maintenant, la recherche au Maroc a étudié les conséquences essentiellement agronomiques du semis direct. Peu d'études globales faisant appel à des critères socio-économiques ont été entreprises. Cette carence peut expliquer qu'au Maroc et donc en Afrique du Nord cette pratique n'existe actuellement qu'au stade expérimental. Par ailleurs, une analyse économique au niveau des exploitations agricoles s'impose pour évaluer la rentabilité du semis direct par rapport aux systèmes conventionnels sur une ou plusieurs années et les difficultés financières et d'investissement rencontrées par l'agriculteur pour passer d'un système conventionnel au système de semis direct.

En agriculture conventionnelle, les interventions de travail du sol demandent des intrants considérablement plus élevés en investissements, entretien, énergie fossiles et en temps de travail comparé à l'agriculture de conservation particulièrement en semis direct et non labour (Bourarach, 1989; Dycker et Bourarach, 1992). Toutefois, généralement, ni l'énergie et ni le temps ne sont disponibles pour mener à bien les importantes opérations de travail du sol nécessaires. Le semis direct ou non labour ne demande qu'un passage pour le semis comparé à une ou plusieurs façons culturales en plus du semis en méthode traditionnelle.

Les avantages du changement au semis direct font plus que compenser le supplément de coût de la protection des cultures. Ces avantages sont: une augmentation de la surface exploitée, une suppression des coûts des labours et des façons superficielles, et une économie du temps du carburant, de la main d'œuvre et des charges d'équipements.

Les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'œuvre que les systèmes avec labour. En d'autres termes, le semis direct offre donc une très forte économie de main d'œuvre par rapport au labour, justement sur les opérations les plus pénibles du calendrier cultural, à savoir, les travaux du sol. Ainsi, les coûts de production sont systématiquement plus faibles avec semis direct, grâce à la très forte réduction de main d'œuvre qu'avec labour. Ces économies compensent normalement le coût supplémentaire des méthodes de conservation (application d'herbicides et matériel de semis direct).

Le semis direct permet, en plus d'une production de bonne qualité due à des conditions favorables au moment du remplissage des grains de céréales, une réduction de l'investissement et donc une plus grande efficacité d'utilisation des intrants (semences sélectionnées, pesticides, engrais).

Dans la plupart des situations, le semis direct réduit les temps de travaux et leur pénibilité et entraîne une nouvelle répartition du travail au cours du temps qui écrête les pointes de travail. D'autres retombées positives découlent de l'économie du temps, notamment la possibilité de choix d'une humidité optimale et donc meilleure qualité du lit de semences et coût de production plus faible.

Dans un essai de long-terme sur l'influence des séquences de travail du sol sur les paramètres techniques, Dycker et Bourarach (1992) ont montré que dans un sol limono-sableux, l'installation d'une céréale d'automne en semis direct requiert 3.2 litres ha⁻¹, alors que les trains techniques utilisant le chisel suivi d'une herse combinée, le pulvérisateur à disque lourd et le cultivateur rotatif consomment respectivement 20.3, 17.6 et 19.9 litres ha⁻¹.

D'après des analyses économiques sommaires effectuées dans une exploitation agricole (cf. Tableau 7), la rentabilité économique explique l'engouement de l'agriculteur. Les produits sont supérieurs en semis direct sur mulch de blé (rendements plus élevés), d'où une marge bénéficiaire bien supérieure (Tableau 10). Sur quatre ans, l'agriculteur a gagné en moyenne 4912 dirhams par hectare en pratiquant le semis direct, par contre le gain n'était que de 950 dirhams par hectare avec le labour.

Tableau 10: Rendement du blé (grain R_g et paille R_p , qx/ha), charges C_h (Dh/ha) et marges bénéficiaires brutes M_b (Dh/ha) en fonction du type de travail du sol pour un agriculteur de la Chaouia (Données non publiées).

Année	Semis direct				Travail conventionnel			
	R_g	R_p	C_h	M_b	R_g	R_p	C_h	M_b
1997-98	30	17	1600	7000	19	13	1900	3750
1998-99	33	14	1600	7550	10	09	1900	1200
1999-00	12	08	1600	2150	00	00	1700	-1700
2000-01	14	11	1600	2950	08	05	1900	550
Moyenne	22	13	1600	4912	09	07	1850	950

Dh = dirhams marocains

LES LIMITES DE LA TECHNIQUE DU SEMIS DIRECT

Si le système de semis direct présente de nombreux avantages agronomiques, économiques, environnementaux et sociaux, comme nous venons de le voir, les conditions de sa faisabilité en milieu agricole peuvent constituer un frein à son adoption.

En effet, à partir du moment où un nouveau milieu est exploité, des problèmes nouveaux apparaissent, mais pour lesquels les solutions techniques ont été déjà développées, mais il reste à adapter au mieux ces solutions aux contextes réelles des exploitations agricoles.

Le zéro-labour est une technique qui nécessite des ajustements au niveau des pratiques agricoles. Il requiert dans la plupart des cas, l'acquisition de nouveaux équipements et/ou l'achat d'intrants comme les herbicides. Les besoins en nouvelles machines (semoirs) imposent un investissement qui mérite d'être justifié en conditions d'insécurité climatique. Le coût de ce type de semoir est élevé par rapport à celui d'un semoir conventionnel, s'il est importé. Hormis leur coût, le problème de ces semoirs est leur spécificité à un type de graine. C'est ainsi que les agriculteurs nord-africains auront besoin normalement de deux semoirs pour la rotation maïs s-blé.

En semis direct, la suppression du travail du sol nécessite une utilisation renforcée des herbicides, donc un coût plus élevé, et surtout, une bonne connaissance des produits et de leur utilisation. Cette maîtrise de la lutte chimique n'est pas acquise par tous les agriculteurs, et les parcelles en semis direct peuvent être fréquemment envahies par les adventices.

La validité de l'hypothèse disant que les performances des herbicides doivent remplacer les labours (El-Brahli et al., 1997) est un autre obstacle à la généralisation du semis direct en Afrique du Nord. Ceci reste au cœur du débat parmi les futurs utilisateurs du système de semis direct.

Le manque d'eau réduira l'infestation en mauvaises herbes mais aussi affectera les propriétés des herbicides. L'application de ces intrants en conditions de sécheresse reste donc à étudier.

Les activités d'élevage constituent une contrainte souvent mentionnée à l'adoption des systèmes de semis direct. Une analyse à l'échelle des systèmes de production s'avère donc nécessaire.

Certains aspects du semis direct sur couverture végétale affectent les systèmes d'élevage, et peuvent être un frein à sa diffusion. La permanence du pailis en surface peut être remise en cause dans les régions à vocation élevage-pâturage. En effet, les systèmes de semis direct impliquent l'utilisation de résidus de culture, non pas comme fourrages, mais comme couverture. Ainsi, les parcelles ne peuvent pas être pâturées après la récolte des grains, ce qui pose un problème essentiel pour les sociétés où les systèmes d'élevage reposent sur le pâturage. Ce problème concerne tous les types d'exploitation agricole, même les agriculteurs qui n'ont pas de troupeaux. En effet, ces derniers peuvent vendre ce droit de pâturage aux autres, ce qui représente des entrées d'argent non négligeables pour les petites structures.

Ainsi, les systèmes de semis direct peuvent être difficiles à adopter lorsqu'il y a une grande pression du bétail sur les résidus de récolte. Cela a une importance particulière dans les secteurs semi-arides où la subsistance repose sur la production de

grains et sur le bétail. Dans ces secteurs particulièrement, l'amélioration et la gestion des pâturages doivent être considérés et intégrés aux pratiques de semis direct .

Cette situation peut expliquer pourquoi le semis direct n' est encore qu'au stade expérimental au Maroc et en Tunisie et non encore connu dans les autres pays. Pour réaliser des transferts importants du semis direct en milieu agricole, il faut que les activités d'élevage et de culture soient au contraire très complémentaires et non compétitives. La compétition avec le bétail peut être contournée avec l'augmentation de la biomasse et de la production de grains qui sont possibles en semis direct .

L'accès aux connaissances et aux équipements et intrants appropriés est un autre problème-clé pour assurer l'adoption du semis direct. L'utilisation sûre de produits chimiques est critique, surtout pour des petits agriculteurs. Le secteur public et des organisations non gouvernementales doivent favoriser l'accès à la connaissance par la formation spécifique et pratique des agriculteurs. Des instances techniques de haut niveau sont aussi nécessaires pour soutenir la prolifération et l'extension du semis direct dans le long terme.

Sous semis direct, il est souvent mentionné que les résidus de récolte peuvent augmenter les risques phytosanitaires en monoculture, mais rien que la diversification des cultures peut réduire ces risques de maladies.

L'adoption des systèmes de semis direct peut aussi se heurter à des résistances culturelles et historiques dues à une très ancienne pratique du labour et à l'accoutumance au pâturage des chaumes en été (Mrabet, 2001d).

L'adoption du semis direct peut aussi être retardée par beaucoup de facteurs sociaux et surtout les droits sur la terre et les pratiques agraires usuels. Les droits d'utilisation de la terre sont des fois peu durables et l'investissement n'est pas encouragé (Nassif, 2001). En Afrique du Nord, les politiques et stratégies de développement économique sont souvent pro-urbaines qui ne présentent pas d'infrastructures rurales adéquates aux changements technologiques.

Ainsi, l'introduction des pratiques de semis direct doit prendre ces facteurs en considération et se concentrer d'abord dans des secteurs où ces contraintes ne sont pas les premiers facteurs de limitation, et où les solutions peuvent être facilement trouvées sur le long terme.

PERSPECTIVES D'APPLICATION DU SEMIS DIRECT DANS LE CONTEXTE DE L'AFRIQUE DU NORD

Le système de semis direct améliore les processus chimiques, physiques, micro-climatiques et biochimiques dans le sol, aide à la fixation d'une agriculture durable et optimise la gestion des ressources dans l'exploitation agricole. En effet, les longues années de recherches/développement au Maroc et à travers le monde, nous évitent de repenser la question: Pour ou contre le semis direct? mais plutôt de poser la question: comment placer le semis direct dans les meilleures conditions de réussite?. En fait, le semis direct est probablement le paradigme le plus complet qui ait été construit à ce jour pour le développement d'une agriculture durable, préservatrice de l'environnement, gérée au plus près du "biologique".

Pour surmonter les obstacles de l'adoption du semis direct en Afrique du Nord, il faut hiérarchiser les difficultés aussi bien techniques, sociales qu'institutionnelles. C'est ce que doit être le prochain cadre de travail (recherche-action) pour la promotion et la diffusion du semis direct en milieu réel. Pour remédier à ces obstacles, le secteur public avec toutes ses composantes, doit intervenir. Malgré ceci, les motivations socio-économiques et agronomiques sont en faveur du semis direct pour les zones semi-arides nord-africaines.

Parmi les options présentées par Dixon et al. (2001) pour faire revivre l'agriculture nord-africaine, les systèmes de travail minimum du sol avec maintien d'un couvert végétal ont été suggérés. La même conclusion a été rapportée par Lal (2000) pour restaurer l'agriculture des pays en développement. En effet, en plus du Maroc, dans les deux autres pays du Maghreb, il y a une prise de conscience récente de l'intérêt du semis direct pour leur agriculture et environnement (Mrabet et al., 2001b). La fixation d'une agriculture de conservation dans ces pays doit être à travers le développement du semis direct.

L'adaptation et le transfert du semis direct sur couverture végétale dans les pays de l'Afrique du Nord ouvrent des perspectives nouvelles pour concilier l'accroissement de la production, garante d'une sécurité alimentaire, et la protection de l'environnement. En plus, la pression anthropozoi que sur les ressources en sol exige de changer de pratiques agricoles vers celles conservatrices (et spécialement le semis direct).

Les systèmes de semis direct permettent de préserver totalement l'environnement et d'améliorer la capacité de production du patrimoine sol, à court, moyen et long termes, avec beaucoup moins de travail à l'hectare, une grande simplification des travaux agricoles, tout en ayant une flexibilité accrue dans leur exécution et une bien moindre pénibilité.

Par la suppression des travaux de préparation du sol avant semis, et notamment le labour, le semis direct donne aux agriculteurs nord-africains plus de souplesse dans la gestion de l'installation des cultures. En effet, la préparation du sol constitue le chantier le plus long dans une campagne agricole. Il est aussi dépendant

des conditions climatiques qui peuvent retarder sa réalisation. On peut citer de plus les cas où les agriculteurs attendent la disponibilité d'un équipement en location pour labourer, alors qu'ils peuvent effectuer un semis direct.

Dans chacun des pays nord-africains, les caractéristiques climatiques et pédologiques, mais aussi les moyens et les pratiques des exploitants doivent être pris en compte. En effet, la recherche doit s'orienter vers la diversification des systèmes de culture à base de semis direct qui valorisent la biomasse de manière plus efficace dont l'introduction de légumineuses en rotation, l'utilisation des engrais vers ou cultures de couverture là où les conditions climatiques le permettent et l'amélioration des systèmes fourragers durant la saison sèche. Cette diversification devrait permettre une meilleure adaptation de ces systèmes aux situations pédo-climatiques et aux conditions socio-économiques des agriculteurs.

La promotion du semis direct en Afrique du nord permet l'augmentation de la productivité des sols, des perspectives de diversification et des profits accrus pour l'agriculture de subsistance comme pour l'agriculture commerciale. Toutefois, au-delà de la préservation des sols, de l'eau, de la fertilité, et de l'augmentation régulière de la productivité dans un environnement protégé, le système de semis direct est un facteur déterminant pour l'établissement d'un nouveau profil de l'agriculture en Afrique du Nord, la rendant plus apte à affronter les défis économiques et techniques, caractérisée par la globalisation des marchés et de la connaissance.

Pour une adoption plus large du semis direct en Afrique du Nord, les agriculteurs ont besoin d'une connaissance claire pratique et sûre, adaptée et accessible. Pour ce faire, les agriculteurs doivent être associés aux travaux de recherche-développement et ont besoin de la coopération des entreprises publiques. Ils auront besoin d'information, d'éducation et de soutiens qui peuvent être apportés à travers les échanges avec des spécialistes et plus tard entre agriculteurs. Ils auront aussi besoin de soutien financier pour acheter des équipements spécifiques et les intrants à travers des crédits et subventions.

Les agriculteurs nord-africains, à cause du niveau faible d'éducation, ont besoin d'un accompagnement permanent dès le début d'une démarche d'adoption des techniques de semis direct. Beaucoup de changements auront lieu (techniques, sociales, économiques, ...) et doivent être bien suivis par l'agriculteur. L'appui le plus efficace consiste en des échanges entre agriculteurs par le biais d'associations, de coopératives agricoles ou de réseaux. Ces organisations d'agriculteurs sont la clef pour l'adoption, la formation, l'information et l'innovation. Ils sont aussi le seul moyen pour des agriculteurs d'être entendus et associés au développement de la technologie. Il sera donc indispensable d'impliquer complètement les agriculteurs et leurs organisations professionnelles dans l'acquisition des références et le transfert du système semis direct.

Il y a un besoin urgent au changement de paradigme pour soutenir les systèmes de semis direct qui sont durables, compétitifs et profitables. Il y a une grande opportunité d'implanter ces techniques en Afrique du Nord. Les changements doivent

aussi avoir lieu dans les mentalités et dans la politique où les pratiques conventionnelles sont fortement contestées, mais pas discutées, ni découragées.

Toutes les institutions agricoles sont responsables du succès ou de l'échec de l'adoption du semis direct. Elles doivent faire les efforts nécessaires pour s'adapter et changer leur avis. Les agriculteurs doivent profiter de toutes les synergies et doivent recevoir l'appui technique et financier afin de minimiser les risques qu'ils prennent en changeant leur système de production.

Les avantages associés au semis direct seront la garantie d'une acceptabilité et d'une diffusion rapide de cette technologie au Maroc et en Afrique du Nord. Ce système permettra la naissance d'une nouvelle révolution agraire comme c'était le cas en Brésil, en Argentine et dans d'autres pays en développement.

CONCLUSION ET SYNTHESE GENERALE

Les avantages agronomiques et technico-économiques du semis direct par rapport au travail du sol sont considérables. C'est une approche de gestion du sol qui cherche à limiter les dégâts causés à la composition, à la structure et à la biodiversité naturelle des sols

Bien que des efforts très visibles aient été faits au cours des dernières années au Maroc et en Tunisie en matière de semis direct, les institutions publiques en Afrique du nord devront tout mettre en œuvre pour poursuivre et même accélérer la pénétration de ces pratiques.

L'adoption des systèmes de semis direct en Afrique du Nord peut être retardée par un contexte défavorable: manque d'associations d'agriculteurs, compétition avec le bétail dans l'utilisation des résidus de récolte; accès réduit aux intrants de qualité et aux équipements; manque de connaissance; appui insuffisant de la part des institutions en raison d'un manque de connaissances sur le semis direct ; droits et pratiques agraires usuels; droits d'utilisation de la terre peu durables; politiques inopportunes qui favorisent les pratiques conventionnelles, politiques trop pro-urbaines; infrastructures rurales inadéquates et manque d'accès aux marchés.

En plus des conditions climatiques, les modalités de mise en œuvre des systèmes de semis direct et les conditions de leur adoption en milieu agricole dépendent du contexte socio-économique où ils s'appliquent. En effet, les conditions socio-économiques constituent bien souvent un frein à leur adoption par les agriculteurs. Il est nécessaire de réaliser une analyse à l'échelle des unités de production en considérant en simultanée les avantages agronomiques visés, la possibilité d'intégration du semis direct au sein des systèmes d'exploitation (équipement, main d'œuvre, intrants, élevage) et la faisabilité économique.

Certaines contraintes à l'adoption des systèmes de semis direct se situent également au niveau du fonctionnement des systèmes agraires (gestion du foncier, relations agriculture-élevage, pâturage).

Il est donc clair de cette revue de l'état des lieux que le semis direct est un système qui provoque un changement radical dans les systèmes de production. C'est une pratique agricole conservatrice qui permet d'améliorer les rendements des cultures à travers une meilleure utilisation de l'eau.

Le travail du sol et particulièrement le semis direct est un champ de recherche très négligé en Afrique du Nord. En effet, à part les recherches effectuées au Maroc, les études sur le semis direct sont très éparses et fragmentaires. Par conséquent, il est nécessaire de renforcer les systèmes de la recherche agronomique en vue de couvrir l'ensemble des écosystèmes nord-africains. Les priorités peuvent être données aux recherches sur les systèmes de travail du sol dans tous les aspects (techniques, fondamentaux, économiques, environnementaux...).

Il y a un besoin urgent à globaliser les connaissances en semis direct, par des approches interdisciplinaires scientifiques, sociales, politiques et économiques et à explorer les occasions d'assurer la diffusion de ces connaissances. Par ailleurs, les volontés publiques, politiques doivent accompagner les résultats de recherche qui ont montré les grandes perspectives dans l'utilisation généralisée des systèmes de semis direct au Maroc et conséquemment en Afrique du Nord. Les Etats devront trouver des mécanismes de soutien financier à l'introduction, au développement et à la viabilité des systèmes de semis direct.

Le semis direct n'est sans doute pas la panacée, mais il représente un espoir sérieux pour beaucoup de petits agriculteurs et pour l'agriculture nord-africaine en général. Il y a un besoin urgent de développer le semis direct dans cette partie importante de la méditerranée et de l'Afrique. Cependant, le transfert de technologie doit être soigneusement conçu pour éviter des échecs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboudrare A. et A. A. El Qortobi 2001. Le semis direct dans les zones favorables Marocaines (région de Meknès). Actes des 1ères journées de Rencontres Méditerranéennes sur le Semis Direct. Mrabet et al. (eds). Settat, 22-23 Octobre 2001.
- Baker, C.J., K.E. Saxton, and W.R. Ritchie. 1996. No-tillage seeding: science and practice. CAB International, UK. 258p.
- Benites, J., E. Chuma, R. Fowler, J. Kienzle, K. Molapong, J. Manu, I. Nyagumbo, K. Steiner, and R. van Veenhuizen. 1998. Conservation tillage for sustainable agriculture. Proceedings of International Workshop. Harare, Zimbabwe, June 22-27, 1998.
- Bessam, F. and R. Mrabet. 2001. Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (eds). In: proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2. pp 281-286.
- Bourarach, H.E. 1989. Mécanisation du travail du sol en céréaliculture pluviale :performances techniques et aspects économiques dans une région semi-aride au Maroc. Thèse es-Sciences Agronomiques, IAV Hassan II, Rabat.
- Bourarach, H.E. et M. Oussible. 1995. Management du sol en milieux arides et semi-arides. In: El-Gharous M et al. (eds.), Proceedings of the International Dryland Agriculture Conference. May 1994, Rabat, Morocco. pp. 74-82.
- Bourarach, E.H., A. Bouzza, et A. Nousfi. 1998. Développement d'un système d'enterrage de semoir direct pour le travail en sol séc. Hommes Terre & Eaux 28(109):5-10.
- Bouzza, A. 1990. *Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas*. Ph.D. Diss. University of Nebraska, Lincoln, USA. 200p.
- Bouzza, A. 1992. Conservation tillage in cereal production systems in Morocco: A future perspective. In: Bourarach, E.H., Oussible, M., Bouaziz, A., El Himdy, B. (Eds.). Proceedings of international seminar on tillage in arid and semiarid areas. April 1992. Rabat, Morocco. pp. 248.
- CPVQ, 2000. Principales composantes d'un semoir adapté aux pratiques de conservation. In: Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Lamarre, G. et D. Massicette (eds). 10p.
- Dahane D. 1992. *Comparaison de trois semoirs commerciaux et un semoir expérimental*. Mémoire de 3ème cycle Agronomie. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Derpsch, R. 1999. Historical review of no-tillage cultivation of crops. Proceedings, First JIRCAS Seminar on soybean research, March 56, 1998, Foz do Iguacu, Brazil, *JIRCAS Working Report. N°13: 1-18*.
- Derpsch, R. 2001. Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In: Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid 1-5, October. Garcia-Torres et al. (eds). Vol 1:161-170.
- Dixon, J., A. Gulliver, and D. Gibbon. 2001. Global farming systems study: challenges and priorities to 2030. Synthesis and global overview. Chapter 4: Middle East and North Africa Region. pp: 27-32. FAO Rome, Italy.
- Dycker, J. and E.H. Bourarach. 1992. Energy requirements and performances of different soil tillage systems in the Gharb and Zaër regions. In: Bourarach, E.H., Oussible, M., Bouaziz, A., El Himdy, B. (Eds.). Proceedings of international seminar on tillage in arid and semiarid areas. April 1992. Rabat, Morocco. pp. 373-390.

- ECAF, 1999. Agriculture durable et conservation des sols : Enjeux et perspectives en Europe. 23p.
- El-Brahli, A., A. Bouzza, et R. Mrabet. 1997. Stratégie de lutte contre les mauvaises herbes dans plusieurs rotations céréalières en conditions de labour et de non labour. Rapport d'activité 96-97. INRA Centre Aridoculture Settât, Maroc.
- El-Brahli, A. et R. Mrabet. 2000. La jachère Chimique: Pour relancer la céréaliculture non-irriguée en milieu semi-aride Marocain. Actes de la Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales. Centre Aridoculture Settât 23 Novembre 2000. Association Marocaine de Malherbologie. pp: 133-145.
- El-Brahli, A., R. Mrabet, et A. Bahri. 2000. Potentialités et conditions d'adaptation de la rotation triennale dans les zones semi-arides. Rapport Projet FAO-DAF, Ministère de l'agriculture, du développement rural et des pêches maritimes. 40p.
- El-Brahli, A, A. Bahri, et R. Mrabet. 2001. Résultats des essais d'introduction des techniques de conservation de l'eau chez les agriculteurs dans la région de la Chaouia (Maroc). Actes des 1ères journées de Rencontres Méditerranéennes sur le Semis Direct. Mrabet et al. (eds). Settât, 22-23 Octobre 2001.
- FAO, 2001. Conservation agriculture: case studies in Latin America and Africa. FAO Soils Bulletin 78, 69p.
- Fowler, D.B. 1995. Seeding equipment. In: Winter Wheat Production Manual. Published by Ducks Unlimited Canada and CPS Conservation Production Systems Ltd., Saskatchewan, Canada. pp: 661-621.
- Greb, B.W. 1979. Technology and wheat yields in the central Great Plains: Commercial advances. J. Soil Water Conservation. 34:269-273.
- Griesbach, J.C. 1993. The present state of soil resources in the Mediterranean countries. In. Cahiers Options Méditerranéennes, Vol. 1. Etat de l'agriculture en Méditerranée. pp. 9-22.
- Halitim, A. 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Office des publications universitaire, Alger. 384p.
- IPCC, 1995. Climate change 1995. Working group 1. IPCC, Cambridge: Cambridge University Press, NY.
- Kacemi, M. 1992. *Water conservation, crop rotations and tillage systems in semi-arid Morocco*. Ph.D. Dissertation. Colorado State University. Fort Collins, CO. USA. 200p.
- Kacemi, M., G.A. Peterson, and R. Mrabet. 1995. Water conservation, wheat-crop rotations and conservation tillage systems in a turbulent Moroccan semi-arid agriculture. In: El-Gharous M *et al.* (eds.), Proceedings of the International Dryland Agriculture Conference. May 1994, Rabat, Morocco. pp. 83-91.
- Karmouni, A. 1988. Problèmes de l'érosion hydrique au Maroc: Importance des phénomènes et Causes. In: Séminaire National sur l'aménagement des bassins versants. 18-23 Janvier 1988. PNUD/FAO. pp. 1-13.
- Kassam, A.H. 1981. Climate, soil and land resources in West Asia and North Africa. Plant Soil. 58:1-28.
- Lahlou, S. and R. Mrabet. 2001. Tillage Influence on Aggregate Stability of A Calcixeroll Soil in Semiarid Morocco. Garcia-Torres et al. (eds). In: Proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2:249-254.
- Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and C. Whitman. 1995. World soils and greenhouse effect: An overview. In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (ed.). Soils and global change. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, MI., USA. pp.1-7.
- Lal, R. 1999. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. Progress in Env. Sc. 4: 307-326.

- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science*. 165(1) :57-72.
- Lamarca, C.C. 2000. Les fondements d'une agriculture durable. PANAM 317p.
- Merzouk, A. 1985. Relative erodability of nine selected Moroccan soils as related to their physical, chemical and mineralogical properties. PhD Thesis, University of Minnesota, Saint Paul, MN, USA. 124p.
- Mrabet, R. 1993. Revue bibliographique sur les systèmes de labour de conservation de l'eau et leurs effets sur le système sol-plante. *Al Awamia* 80:3-38.
- Mrabet, R., A. Bouzza, and G.A. Peterson. 1993. Potential reduction of soil erosion in Morocco using no-till systems. *Agronomy Abstract*, American Soc. Agronomy, Madison, WI, USA. p. 323.
- Mrabet, R. 1997. *Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semi-arid area of Morocco*. Ph.D. Diss. Colorado State University, Fort Collins, CO. USA. 209p.
- Mrabet, R. 2000a. Differential response of wheat to tillage management systems under continuous cropping in a semiarid area of Morocco. *Field Crops Research* 66(2): 165-174.
- Mrabet, R. 2000b. Long-term No-tillage influence on soil quality and wheat production in semiarid Morocco. In: Morison, J.E. (Ed.) *Proceedings of 15th ISTRO Conference Tillage at the Threshold of the 21st Century: Looking Ahead*, Fort Worth, Texas USA July 2-7, 2000.
- Mrabet, R. 2001a. Le Semis Direct: Une technologie avancée pour une Agriculture durable au Maroc. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADREF-DERD*. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.
- Mrabet, R. 2001b. Le Système de Semis Direct: Pour Une Agriculture Marocaine Durable et Respectueuse de l'Environnement. Actes de la conférence de l'Association Marocaine des Agro-Economistes AMAECO « Les aléas climatiques et politiques agricoles » Rabat, 24-25 Mai, 2001 (à paraître).
- Mrabet, R. 2001c. No-tillage Farming: Renewing Harmony Between Soils and Crops in Semiarid Morocco. Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Subcommittee C – Soil and Water Conservation. Rio de Janeiro, Brazil, September 17-21, 2001. <http://www.cnps.embrapa.br/icld3>.
- Mrabet, R. 2001d. No-Tillage System: Research Findings, Needed Developments and Future Challenges for Moroccan Dryland Agriculture. In *proceedings of International Congress on Conservation Agriculture*. Garcia-Torres et al. (eds). Madrid, Spain. October 1-5, 2001. p:737-741.
- Mrabet, R., N. Saber, A. El-Brahli, S. Lahlou, and F. Bessam. 2001a. Total, Particulate Organic Matter and Structural Stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil & Tillage Research* 57:225-235.
- Mrabet, R., B. Vadon, et A. Ait Lhaj. 2001b. Le semis direct en Méditerranée. Actes des résumés des premières journées de rencontres sur le semis direct en Méditerranée. Centre Régional de la Recherche Agronomique, Settat, Maroc, 22-23 Octobre 2001. 31p.
- Mrabet, R., K. Ibno-Namr, F. Bessam, and N. Saber. 2001. Soil chemical quality changes and implications for fertilizer management after 11 years of no-tillage wheat production systems in semiarid Morocco. *Land Degradation & Development*. 12:505-517.
- Nassif, F. 2001. Semis direct et environnement socio-économique dans les zones arides et semi-arides au Maroc. Actes des 1ères journées de Rencontres Méditerranéennes sur le Semis Direct. Mrabet et al. (eds). Settat, 22-23 Octobre 2001.

- Pavei, J.N. 1998. Le semis direct sur couverture végétale: un moyen de parvenir à une agriculture durable. Rasolo, F. et M. Raunet (eds). In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 Mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp :503-507.
- Pieri, C. et K.G. Steiner. 1997. L'importance de la fertilité du sol pour l'agriculture durable – le cas particulier de l'Afrique. *Agriculture & Développement Rural*. 1 :23-26.
- Raunet, M., L. Séguy, et C. Fovet-Rabot. 1999. Semis direct sur couverture végétale permanente du sol: de la technique au concept. Rasolo, F. et M. Raunet (eds). In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 Mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp :41-52.
- Reicosky, D C. 1996. Tillage as a mechanism for CO₂ emission from soils. In: Proceedings of International Symposium on Soil Source and Sink of Greenhouse Gases. 14-20 September, 1995. Nanjing, China.
- Reicosky, D.C. 2001. Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. Garcia-Torres et al. (edts). In: Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid 1-5, October. Vol 1:3-12.
- Sandretto, C. 2001. Conservation tillage firmly planted in US agriculture. *Agricultural Outlook*, March 2001, 5-6.
- Séguy, L. et S. Bouzinac. 1999. Quelles recherches thématiques pour aborder la modélisation du fonctionnement comparé entre des systèmes de culture avec travail mécanique du sol et des systèmes en semis direct sur couverture mortes ou vivantes ? Rasolo, F. et M. Raunet (eds). In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 Mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp :495-502.
- Steiner, K. 1998. Conserving natural resources and enhancing food security by adopting No-Tillage. An Assessment of the potential for soil-conserving production systems in various agro-ecological zones of Africa. GTZ Eschborn, Tropical Ecology Support Program, T B publication number: T B F-5/e, 53pp.