

**Objectif stratégique 1 :
Protection et préservation
des ressources naturelles :
eau et sol**



Indicateur 1 : Matières organiques dans les sols des plaines céréalières (%) et séquestration du carbone

a - Définition

Cet indicateur mesure la teneur des sols en matière organique. Cette mesure permet d'orienter le choix du type d'apport en éléments fertilisants. Cet indicateur est à utiliser conjointement et surtout en liaison avec l'observation à la parcelle (structure du sol, phénomène de battance, de ruissellement et d'érosion, l'hydromorphie.).

La richesse des sols en matières organiques (MO) est l'un des principaux indicateurs de la fertilité des sols. Elle est aussi une caractéristique de plus en plus appréciée dans un contexte global de changement climatique où le stockage du carbone dans les sols est une alternative sérieuse qui permettra de limiter les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère.

b - Méthode de calcul, tendances et évolutions

Pour évaluer la quantité des matières organiques d'un sol, on procède à déterminer le taux de matière organique accessible par analyse physico-chimique classique de sol. Un taux inférieur à 1% peut néanmoins être problématique.

Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés carbonés d'origine végétale et animale : des débris en cours de décomposition issus de la végétation qui constituent la litière du sol, jusqu'à l'humus stable solidement fixé aux particules d'argile qui garantit la pérennité structurale. Il est ainsi plus juste de parler des matières organiques du sol (MOS). Les MOS sont essentiellement localisés dans l'horizon superficiel du sol (0-20 cm).

Plusieurs études font le constat de baisse des taux de matières organiques dans les sols cultivés ces dernières décennies. Bien que la tendance ne soit pas généralisable, il est nécessaire de s'en préoccuper dans une optique de gestion à long terme de la qualité des sols.

La matière organique joue un rôle très important pour l'édification de la structure du sol et dans le développement de toutes ses conséquences tant sur le sol lui-même que sur le végétal : aération, perméabilité, teneur en eau, et prospection par les racines. La richesse des sols en matières organiques (MO) est l'un des principaux indicateurs de la fertilité des sols. Elle améliore les caractéristiques physiques et chimiques des sols et fournit, suite à un processus de minéralisation, l'azote nécessaire aux plantes. Elle est aussi une caractéristique de plus en plus appréciée dans un contexte global de changement climatique où le stockage du carbone dans les sols est une alternative sérieuse qui permettra de limiter les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère. D'après les travaux d'Annabi et al. (2009) sur trente-cinq sols du nord de la Tunisie (25 sols cultivés en grandes cultures et 10 sols



forestiers dans les gouvernorats de Tunis, Jendouba, Bizerte et Béja) ont été échantillonnés et les MO de ces sols ont été caractérisés en mesurant la teneur en carbone organique total et en azote total ainsi que la biodégradabilité des MO à travers la mesure de la respiration microbienne durant 28 jours d'incubation à 28 °C. Les résultats de ces travaux ont montré que pour le carbone organique total (COT), la médiane des sols cultivés elle se situe à 1,4 %. Vingt-cinq pour cent des sols cultivés étudiés présentent une teneur en COT de 1,0 % à 1,2 %, 50 % de ces sols ont une teneur de 1,2 % à 1,6 % et pour 25 % d'entre eux, la teneur en COT est de 1,7 % à 1,9 %. Seulement deux sols présentent des teneurs atypiques de 0,5 % et de 2,1 %. Pour l'azote total du sol, la médiane est de 0,14 % et 0,21 %, respectivement pour les sols cultivés et forestiers. Pour les sols cultivés, 25 % d'entre eux ont des teneurs en azote variant entre 0,07 et 0,08 %, 50 % de ces sols ont une teneur en azote entre 0,09 et 0,17 %, alors que seulement 25 % de ces sols ont une teneur en azote de 0,17 % à 0,31 %. Deux sols de ce groupe ont des teneurs atypiques de 0,32 % et 0,40 %.

Lors de la ratification du protocole de Kyoto, la Tunisie a estimé ces émissions de gaz à effet de serre de 1997, exprimées en kilo tonne équivalent CO₂ (kte CO₂), avec une contribution de l'agriculture de l'ordre de 20 %, soit 6 440 kte CO₂, les terres cultivées émettent 3 413 kte CO₂ (CIEDE, 2001). Dans son plan de compensation de ses émissions de gaz à effet de serre, la Tunisie envisage de stocker plus de 7 000 kte CO₂ dans les sols d'ici 2020 (CIEDE, 2001).

Ce stockage potentiel est envisagé via des pratiques culturales de conservation comme le semis direct ou l'apport d'amendements organiques.

Tableau 1 : Teneur en matière organique de différents types de sol du nord de la Tunisie

Région	Type de sol	Teneur du sol en			
		Carbone organique (%)	Matière organique %	K ₂ O meq/100 g	P ₂ O ₅ Ppm
Zaghouan	Peu évolué	1,11	2,28	460	49
	Calcimagnésique	0,88	1,99	320	61,75
Siliana	Calcimagnésique	1,02	2,50	292,5	41
	Vertisols	0,81	1,96	332,5	25,75
	Peu évolué	0,82	1,88	415	47,5
Kef	Peu évolué	1,05	2,45	297,5	20,25
	Isohumique	1,03	2,01	130	25,75
	Calcimagnésique	0,67	1,44	300	37,5
Jendouba	Peu évolué	0,62	1,77	385	50,25
Béja	Vertisol	1,07	2,2	377,5	79,5
	Calcimagnésique	0,88	2,27	240	50,5
	Peu évolué	1,04	2,18	370	60

Source : Annabi et al. (2009)

c- Commentaire

Le Nord, renferme les principaux sols fertiles de la Tunisie où apparaissent le croissant céréaliier (Béja, Jendouba, Le Kef, Siliana, Bizerte) et l'arboriculture fruitières ; surtout agrumes et vignoble. Le Centre à bioclimat aride mais qui subit les influences maritimes littorales présente une bonne aptitude pour l'olivier et l'arboriculture fruitière. Le Sud, à partir de l'isohyète 200 mm, les sols les mieux appropriés pour les cultures (arbres fruitiers et oliviers) sont sableux à sablo-limoneux et bénéficient des influences littorales ou des aménagements hydrauliques (petite hydraulique, jessours). D'après des analyses réalisés par la direction des sols (DGAFTA) dans le cadre de suivi de la fertilité des sols dans les régions céréalières du Nord (Béja, Jendouba, Zaghouan, Bizerte).

Les matières organiques du sol ont un rôle primordial dans le comportement global du sol :

- vis à vis de la qualité physique du sol, elles sont le liant des particules minérales (argiles, limons et sables) à travers le complexe argilo-humique, et de ce fait, participent à la qualité de la structure du sol et à sa stabilité vis à vis des agressions extérieures (pluie, compaction entraînées par le passage d'engins agricoles...)
- les MOS assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments dont elle a besoin,
- les MOS stimulent l'activité biologique du sol,
- les MOS ont un rôle fondamental au niveau environnemental en retenant les micropolluants organiques et les pesticides. L'augmentation de leur temps de passage dans le sol permet d'améliorer leur dégradation par les micro-organismes. Elles participent au maintien de la qualité de l'eau

La gestion de la matière organique d'un sol est indispensable, et ce même dans le cas où le taux de matière organique fourni par l'analyse est jugé satisfaisant. En effet, chaque année, 1 à 2% de l'humus du sol, est dégradés par minéralisation.

Dans une optique de gestion durable des sols céréaliiers, il est important de compenser les pertes annuelles et naturelles en matière organique par minéralisation.



Indicateur 2 : Sensibilité à la salinisation dans les périmètres irrigués (SINEAU)

a- Définition

L'objectif de cet indicateur est de mesurer le risque de salinisation des sols sous irrigation. L'indice de sensibilité à la salinisation est le résultat du produit de 4 critères : la texture (S), le climat (C) et la qualité de l'eau d'irrigation (E) et la profondeur de la nappe phréatique (NP): $SS = S \times C \times E \times NP$

Les cartes relatives aux 4 facteurs susmentionnés sont superposées sous SIG pour obtenir la carte de sensibilité (de risque) des sols irrigués selon les classes suivantes :

Tableau 2 : Classe de sensibilité à la salinisation des sols

Classe de sensibilité	Score	Symbole
Très peu sensible	< 5	SS1
Peu sensible	5- 10	SS2
Moyennement sensible	11-25	SS3
Fortement sensible	26- 100	SS4
Très fortement sensible	>100	SS5

Source : MA, 2004

L'indicateur est en lien avec les indicateurs relatifs à « l'hydromorphie » et à « la qualité des eaux destinées à l'irrigation ».

La diminution de la valeur de l'indicateur dénote une meilleure gestion de la salinité d'une manière générale.

b - Tendances récentes

La carte de risque de salinisation élaborée en 2005 par le Ministère de l'Agriculture (DG-ACTA) a permis d'obtenir les résultats suivants :

Tableau 3 : Risques de salinisation des sols dans les périmètres irrigués

Classes de risque de Salinisation	Périmètres Publics (%)	Périmètres Privés (%)
Sols très peu sensibles	9.9	1.9
Sols sensibles	30.5	12.4
Sols moyennement sensibles	23.5	31.3
Sols fortement sensibles	36.1	54.5

Source : MA, 2004



c - Commentaires

La salinisation des sols irrigués menace de manière sérieuse la durabilité des systèmes de production intensifs. L'impact de cette salinisation est double : la réduction des rendements des cultures en fonction de leur tolérance à la salinité et la dégradation de la structure du sol irrigué et en conséquence de sa capacité d'infiltration. L'expérience tunisienne montre qu'au-delà de 2.5 g/l de sels dans l'eau d'irrigation, non seulement le taux d'intensification cultural diminue et la valorisation du m³ est réduite, mais aussi et surtout la qualité du sol en tant que ressource est affectée par l'accumulation des sels.

Un observatoire des sols irrigués est à mettre en œuvre en vue de renforcer le suivi des périmètres irrigués et de réactualiser la carte des risques à une fréquence bisannuelle. Les résultats seront transmis aux arrondissements concernés dans tous les CRDA pour prendre les dispositions nécessaires en termes d'amélioration de la qualité des eaux (mélange, transfert, etc.), d'aménagement (drainage) et de conseils agricoles ou de pratique d'irrigation (lessivage, etc.).

d - Difficultés de calcul de l'indicateur

La sensibilité des sols à la salinisation est une modélisation de l'état des sols si ces paramètres physiques changent qui est une adaptation du Modèle MEDALUS pour la définition des indicateurs clés de la désertification et la cartographie de la sensibilité environnementale des terres à la désertification (Kosmas et al., 1999).

Le calcul de cet indicateur a été réalisé dans le cadre d'une étude engagée par la DGACTA et son actualisation dépend aussi de la périodicité de la reprise de cette étude pour engager des ajustements aux stratégies adoptées.

Indicateur 3 : Indicateurs relatifs aux surfaces irriguées affectées par la salinisation

a - Définition

L'indicateur relatif à « la superficie irriguée affectée par la salinisation » dans les périmètres irrigués peut être apprécié par le rapport Ih suivant :

Ih = Superficie irriguée affectée par la salinisation / superficie irrigable totale

Il a pour objectif de mesurer l'évolution la part des superficies aménagées pour l'irrigation qui serait affectée par un excès d'eau et un drainage défectueux aussi bien interne qu'externe ou des eaux d'irrigation salées.

Le drainage défectueux peut être à caractère structurel d'origine externe (plaines alluviales, dépressions, débordements d'oueds, etc.), ou d'origine interne eu égard à la

texture fine des sols, conjuguée à une faible perméabilité du sol et plus précisément à des horizons profonds qui deviennent compacts entraînant des nappes phréatiques artificielles.

D'autre part, le manque d'entretien des oueds, des fossés collecteurs d'assainissement ou des systèmes de drainage souterrains sont parfois à l'origine des problèmes d'hydromorphie dans les périmètres irrigués.

L'augmentation de la valeur de l'indicateur défini ci-avant peut être le signe que la situation est en train de s'empirer avec un rehaussement de la nappe phréatique artificielle sur d'autres périmètres irrigués ou bien la dégradation des ouvrages de drainage et d'assainissement par défaut d'entretien.

La réduction de la valeur de l'indicateur I_h peut aussi dénoter des interventions énergiques par la mise en œuvre de nouveaux systèmes de drainage ou de programmes de maintenance des ouvrages d'assainissement et de drainage.

b - Tendances récentes

Selon le rapport annuel 2012, la Direction des sols en collaboration avec les CRDA assure un suivi de la salinité des périmètres irrigués sur une superficie de 32000 ha. Cette superficie est répartie sur les plaines supérieures et moyennes et basses de la vallée d'Oued Medjerda et les oasis et les plaines de Kairouan, Sidi Bouzid, Kasserine, El Mahdia en plus des oasis de Tozeur, Kébili et Gabès.

Dans le cadre du projet PISEAU 2 pour la période 2009-2014, la DGACTA a procédé à un appel d'offres pour le renforcement des équipements de laboratoires et la réalisation d'une étude pour le suivi et évaluation de la salinité des périmètres irrigués et la réalisation d'une base de données qui sera réalisée dans le cadre du système national d'information de l'eau – SINEAU et de la salinité et de l'hydromorphie dans les périmètres irrigués appelé « SISOL » comme un outil d'aide à la décision pour le choix des programmes projetés d'aménagement à réaliser dans les périmètres irrigués et l'évaluation de la salinité du sol et des nappes phréatiques à temps pour orienter la gestion au niveau de la DGREE et la Direction Générale de la production Agricole (DGPA).

c - Commentaires

Un observatoire est à mettre en place (par la Direction Générale d'Aménagement et de Conservation des Terres Agricoles- DGACTA) pour l'estimation de l'indicateur I_h à une fréquence annuelle. L'élaboration de cet indicateur devra permettre de localiser les périmètres à risque d'hydromorphie et d'en déterminer les causes en vue de planifier les interventions nécessaires telles que :



- Les modes de suivi piézométrique des nappes phréatiques dont les niveaux sont en rehaussement continu ;
- La programmation des travaux d'entretien sur les cours d'eau, les émissaires, les systèmes d'assainissement et de drainage ;
- L'aménagement de protection des périmètres irrigués contre les inondations et création de nouveaux systèmes d'assainissement et de drainage, etc.

Indicateur 4 : Indicateurs relatifs à la qualité de l'eau destinée à l'irrigation

a - Définition

L'objectif de cet indicateur relatif à « la qualité des eaux de surface, souterraines et usées traitées » est de renseigner sur la qualité physico chimique et éventuellement bactériologique des ressources en eau destinées à l'irrigation, en vue d'une utilisation rationnelle de ces ressources et afin d'éviter les impacts parfois négatifs sur d'autres ressources naturelles associées tels que les sols agricoles (salinisation), sur la santé humaine ou sur l'environnement en général (pollution par les eaux agricoles) .

b - Situation actuelle

La gestion de la qualité des ressources en eau destinée à l'usage agricole est multiforme, et multidisciplinaire, exercée par des organismes différents les uns des autres, même s'ils sont complémentaires, et ce au niveau de la mobilisation, du transfert, de l'usage proprement dit ou des rejets (drainage).

Les eaux souterraines : phréatiques et profondes

D'après les données de l'annuaire de la qualité des eaux souterraines (2008), il se dégage trois tendances comme c'est indiqué à la figure suivante :

i) **Une tendance à l'augmentation** du résidu sec des nappes phréatiques dans toute la Tunisie à l'exception du Centre Est, Nord Ouest et Sud ouest, un résidu sec des nappes profondes dans le Centre Est, le Nord Est et le Nord Ouest et des nitrates des nappes profondes dans le sud est, centre ouest et nord est.

ii) **Une tendance à la baisse** de résidu sec des nappes phréatiques dans toute la Tunisie à l'exception du Centre Est, Nord Ouest et Sud Ouest, résidu sec des nappes profondes dans le centre est, le nord ouest et des nitrates dans les nappes profondes dans le Sud Est, Centre Ouest et le Nord Est,

iii) Une tendance à la stabilité des nitrates des nappes profondes dans le Centre Est, résidu sec des nappes profondes dans le Sud Est et le Centre-Ouest, résidu sec des nappes phréatiques dans le Nord Ouest et résidu sec des nappes phréatiques dans le Nord Ouest et nitrates des nappes phréatiques dans le Centre-Ouest.

Tableau 3: Tendances des résidus secs et des nitrates des nappes phréatiques et profondes des régions naturelles (DGRE, 2008)

REGION	NE	NO	CE	CO	SE	SO
RS DANS LES NAPPES PHREATIQUES	↑	→	↓	↑	↑	↓
RS DANS LES NAPPES PROFONDES	↑	↑	↑	→	→	↓
NO ₃ DANS LES NAPPES PHREATIQUES	↓	↓	↓	→	↓	↑
NO ₃ DANS LES NAPPES PROFONDES	↑	↓	→	↑	↑	↓

Remarque :

On désigne par →:Tendance à la stabilité

On désigne par ↓:Tendance à la baisse

On désigne par ↑:Tendance à la hausse

Evolution des résidus secs et des nitrates des régions naturelles de la Tunisie pendant la période 1998- 2008 est présentée dans les figures suivantes :

Fig 1 : Evolution de la qualité des eaux dans le secteur Nord Ouest



Fig 2 : Evolution de la qualité des eaux dans le secteur Nord- Est

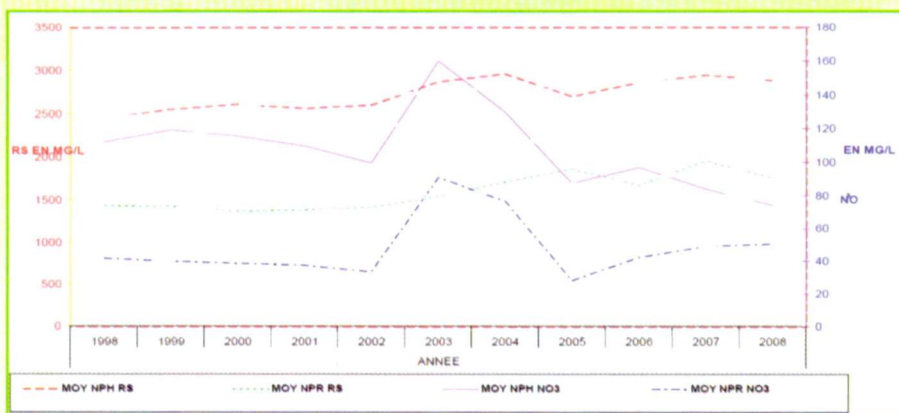


Fig 3 : Evolution de la qualité des eaux dans le secteur Centre - Ouest

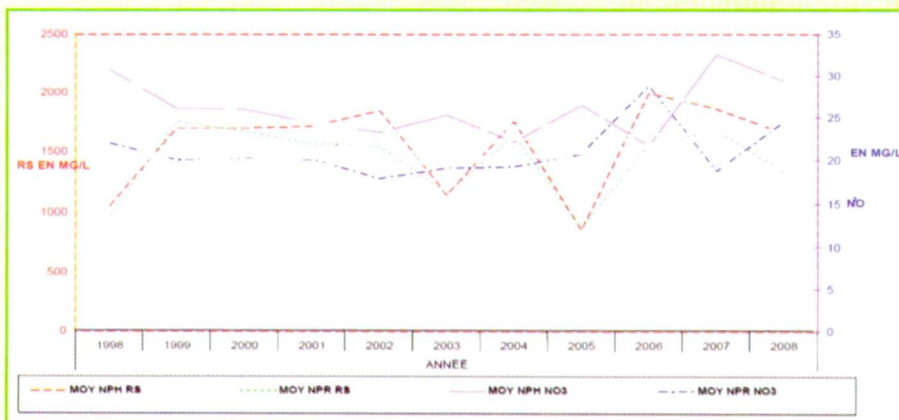


Fig 4 : Evolution de la qualité des eaux dans le secteur Centre - Est

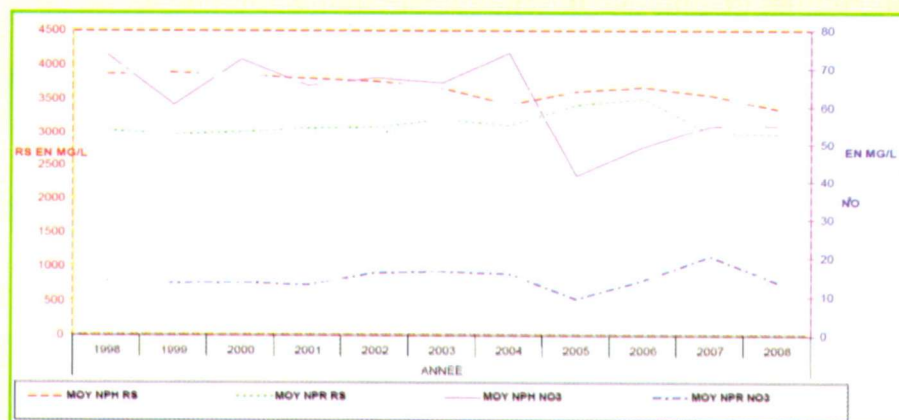
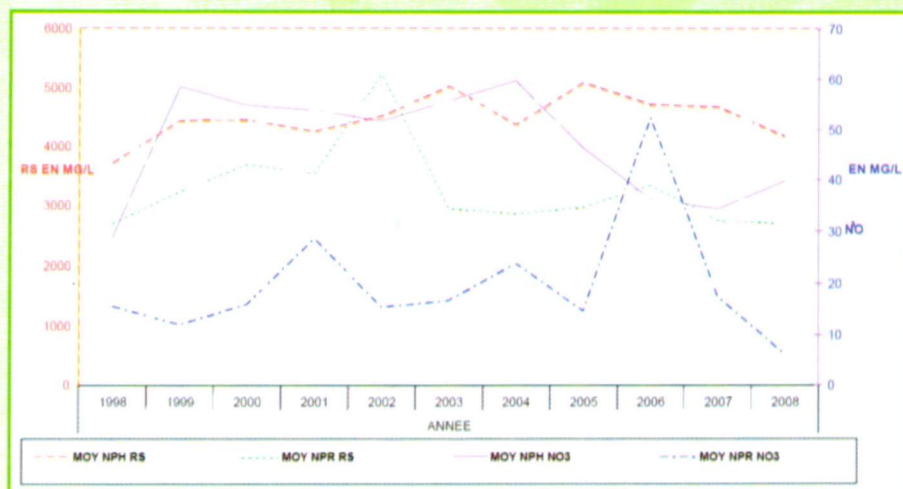


Fig 5 : Evolution de la qualité des eaux dans le secteur Sud- Est



c - Commentaires

Les principaux domaines de préoccupation concernant la situation à l'égard de la qualité de l'eau d'irrigation sont :

- La concentration totale en sels et la composition physicochimique des eaux de surface et souterraines (impacts sur les rendements des cultures et risque de salinisation des sols, lien avec l'indicateur sur la sensibilité à la salinisation des sols irrigués)

- la pollution par les nitrates des eaux de surface et des eaux souterraines (pollution par l'activité agricole intensive, danger pour la santé mais recyclage possible par l'agriculture).

- Les concentrations de phosphore dans les eaux de surface (problème d'eutrophisation dans les réservoirs et affectation de l'approvisionnement en eau des réseaux d'irrigation) ;

- La qualité physico chimique et bactériologique des eaux usées traitées en conformité avec les normes en vigueur.

Les améliorations à apporter au système actuel de suivi concernent les aspects suivants :

- Devant la multitude des opérateurs en matière de gestion de la qualité des eaux d'irrigation, Il conviendrait de rattacher aux CRDA le suivi actuel de la salinité aux zones irriguées et sensibles ou vulnérables (création d'une unité de collecte des données auprès des différents opérateurs) ;



- Les données sur le résidu sec effectuées d'une manière systématique par les opérateurs concernés par l'irrigation (en particulier la DGRE et la SECEDENORD) seront à compléter par une analyse sur la composition saline de l'eau au moins une fois tous les 3 ans).

- Le conseil agricole dans les périmètres irrigués devra tenir compte de la problématique de la qualité de l'eau d'irrigation d'une manière objective.

Indicateur 5 : Surface affectée par l'érosion

a. Définition

Erosion hydrique

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. Le taux et l'amplitude de l'érosion hydrique dépendent des facteurs suivants : l'intensité des précipitations et le ruissellement, la susceptibilité à l'érosion, le gradient et la longueur de la pente et la dégradation du couvert végétal ou de résidus. Il existe plusieurs formes de l'érosion hydrique qui peuvent coexister : l'érosion en nappe, l'érosion en rigoles, le ravinement et l'érosion des berges des oueds et des Talus.

Erosion éolienne

L'érosion éolienne est le phénomène de dégradation du sol sous l'action du vent qui arrache, transporte et dépose des quantités importantes de terre. L'origine des matériaux provient souvent des matériaux détachés préalablement par l'érosion hydrique. L'érosion éolienne s'installe quand : il existe de vents violents et réguliers durant d'assez longues périodes de l'année dans la même direction (vents dominants), il s'agit d'un sol à texture grossière, sableux notamment, il existe des reliefs atténués sur des grandes étendues plates et le climat a une saison sèche entraînant la dessiccation des horizons superficiels du sol et la disparition du couvert végétal. Le taux et l'amplitude de l'érosion éolienne sont contrôlés par les facteurs suivants : le climat (vent, humidité), le vent agit selon les cinq modes d'action suivants : déflation, reptation, saltation, suspension, corrosion, accumulation, évaporation sur la surface du sol, susceptibilité du sol à l'érosion éolienne (texture, teneur en matière organique), topographie ou longueur exposée des champs à l'action du vent, rugosité de la surface et la faiblesse du couvert végétal. La forme la plus répandue de l'érosion éolienne est constituée de dunes qui dépendent des vents dominants. Si les vents dominants sont monodirectionnels, les dunes peuvent être linéaires, ou en croissant (barkhane),

Si les vents dominants sont pluridirectionnels, on peut trouver des dunes sableuses allongées parfois sur plusieurs centaines de kilomètres; tangentes au sillage d'un obstacle. Le profil est formé par deux versants de sable boulant en forte pente, se recoupant en une crête vive. On peut aussi trouver des dunes pyramidales du sommet desquels s'échappent plusieurs crêtes témoignant de vents multidirectionnels.

Il existe aussi des formes en creux, sortes de couloirs entre deux dunes où le vent s'engouffre. Les nappes de sable ainsi déplacées entre les dunes vont être piégées par des touffes de végétaux. Elles vont petit à petit former ce que l'on appelle des «nebkas» qui en s'agglutinant vont finalement former des dunes de plus en plus grosses.

En effet, parmi les différents processus de dégradation des sols, l'érosion est une question cruciale dans toutes les régions de la Tunisie. En conséquence, les indicateurs relatifs à l'érosion sont considérés comme une priorité.

Il est important de signaler que cet indicateur conjugue les informations sur la vulnérabilité inhérente d'un sol ou d'une zone spécifique (en fonction des caractéristiques physiographiques et climatiques) et les données relatives aux modalités de gestion durable des terres agricoles.

b - Méthode de calcul de l'indicateur

La carte d'érosion fournit des informations synthétiques et systématiques sur la nature, l'intensité et la répartition spatiale du phénomène, et permet donc d'identifier les zones les plus affectées et les types d'érosion dominante. Elle sert aussi à identifier et décrire les processus dynamiques de manière qualitative, incluant les situations extrêmes telles que la dégradation irréversible, les zones stables ou stabilisées ou bien non affectées, les zones plus ou moins affectées. Les résultats obtenus devraient être utilisés dans la détermination des priorités d'action et la conception des solutions techniques d'un plan d'aménagement.

c - Evolution et tendances récentes

L'ancienneté de l'occupation des sols et l'active pression humaine sur les terres sont incontestables. L'espace des cultures s'est développé largement aux dépens des terrains forestiers et de parcours. La situation s'est aggravée depuis les années 70 (accroissement démographique et urbanisation galopante). L'extension des emblavures en Tunisie centrale et celle de l'arboriculture sur des sols parfois peu fertiles et à contraintes (pente, texture peu riche en matière organique) associée à des pratiques culturales peu judicieuses (assolements inadéquats, mécanisation des labours, défrichement) rendent ces terres très vulnérables devant les processus de dégradation qui se manifestent



par l'érosion hydrique. La superficie totale des terres touchées par l'érosion hydrique est estimée 3525075 d'ha. Les gouvernorats les plus touchés par l'érosion hydrique sont ceux dont Siliana (292532 ha), Tataouine (308900 ha), le Kef (287703 ha), Kairouan (284925 ha), Sidi Bouzid (256945 ha), Kasserine (255285 ha), Médenine (251426 ha) et Gabès (251426 ha). Les versants, au niveau de ces gouvernorats, sont montagneux qui ont généralement une pente raide à assez raide et sont disséqués par une multitude de ravins souvent hiérarchisés. Les piémonts sont façonnés en glacis d'érosion ou d'accumulation étagés, eux même disséqués par une série de ravins qui les enraillent profondément. Le degré d'érosion dépend principalement du couvert végétal pérenne et des pratiques culturales dans chaque région, alors que les plaines sont souvent comblées par des formations alluviales détachées et véhiculées par les eaux de ruissellement pour constituer des zones de décantation ou d'épandage. Selon les données issues des cartes agricoles, Inventaire forestier (1995) et une mise à jour sur des images Landsat 2000, les forêts et les terres de parcours couvrent environ 5,1 millions d'ha, soit 33% du territoire. Le domaine forestier qui s'étale sur 1,2 millions d'ha, est constitué d'environ 80% de forêts proprement dites et de 20% de maquis et de garrigues. Tel que remarqué, près des trois quart des forêts sont situés dans le Nord-Ouest et le Centre-Ouest du pays. Les forêts naturelles sont constituées par les peuplements de chênes (liège, zeen et vert), de pins (d'Alep et maritime) et de thuya. Les forêts artificielles sont principalement des Eucalyptus, acacia et pins (pignon, d'Alep et radiata). Le nombre de personnes vivant à l'intérieur des forêts est estimé à environ un million, soit 10% de la population tunisienne et 25% de la population rurale. Les principales activités sont l'élevage et l'agriculture familiale de subsistance (pratiquée dans les clairières forestières) et le travail dans les chantiers forestiers. Les parcours couvrent environ 3,9 millions d'ha, dont 2,5 millions d'ha sur des terres collectives, 1,1 millions d'ha sur des terres privées et environ 300 mille ha de nappes alfatières. Dans ce contexte et selon l'importance de la pluviométrie, il est estimé que ces parcours fournissent en moyenne entre 35% et 50% des besoins alimentaires du cheptel des usagers. Selon les estimations du Ministère de l'Agriculture (MA, environ 3 millions d'ha sont dégradés suite aux différents facteurs liés aux pratiques culturales peu conservatrices, au surpâturage des parcours et à l'érosion aussi bien hydrique qu'éolienne. Toutefois, la superficie agricole utile est de 5,4 millions d'ha, les cultures annuelles et l'arboriculture occupant l'un et l'autre 40% environ et les jachères les 20% restant. Cette relative stabilisation de la SAU peut être due à la saturation de l'espace cultivable et au développement de la pluriactivité et à l'irrigation de nouvelles terres dans le Sud. Ceci est à mettre en liaison avec la conclusion de la FAO qui indique que la Tunisie est l'unique pays de la région qui met en exploitation près de 500.000 ha de terres inaptes aux cultures. D'une façon générale, la superficie des terres incultes est de 5 millions d'ha.

Tableau 4 : Importance de la superficie des terres touchées par l'érosion hydrique

Gouvernorat	Superficie totale (ha)	SAU *	Forêts / Parcs	Incultes	Superficie touchée par l'érosion hydrique (ha)	Importance de la superficie touchée par l'érosion hydrique (ha)	Superficie nécessitant une intervention urgente	%
ARIANA	45154	9039	8757	27358	8318	18	4540	55
BEJA	368113	257268	98166	12679	165276	45	110968	67
BEN AROUS	67932	37728	20214	9990	29526	43	12616	43
BIZERTE	374878	206801	123273	44804	152477	41	103491	68
GABES	741810	277922	322323	141565	239798	32	137875	57
GAFSA	757990	197447	344035	216508	224256	30	54129	24
JENDOUBA	308276	173631	115795	18849	79172	26	47276	60
KAIROUAN	657419	427854	184107	45458	284925	43	128548	45
KASSERINE	819094	347890	426040	45163	255285	31	140321	55
KEBILI	2249284	124187	635336	1489760	74096	3	30933	42
KEF	510910	366551	117521	26838	287703	56	143238	50
MAHDIA	292437	248029	13137	31270	71671	25	41520	58
MANOUBA	113483	85662	15781	12040	18999	17	10602	56
MEDENINE	936571	420198	426046	90327	251426	27	63215	25
MONASTIR	102806	82774	4101	15931	39281	38	19340	49
NABEUL	283785	195369	63201	25214	110887	39	54216	49
SFAX	699838	501445	132102	66291	125254	18	83228	66
SIDI BOUZID	742030	466836	220500	54693	256946	35	125690	49
SILIANA	461201	309310	122199	29693	292532	63	130588	45
SOUSSE	261762	169685	28543	63534	79880	31	26358	33
TATAOUINE	3824095	207996	1300855	2315244	308888	8	197252	64
TOZEUR	589212	59801	297307	232104	42757	7	27265	64
TUNIS	29651	8881	1379	19391	3932	13	2471	63
ZAGHOUAN	284561	197228	77862	9472	121792	43	58340	48
Total	15522287	5379533	5098579	5044176	3525075	23	1754019	50

* SAU : Surface Agricole Utile

De même, le tableau suivant présente les statistiques de l'érosion hydrique par système hydrologique. A l'exception des deux Iles de Djerba et Kerkena, l'érosion hydrique se manifeste dans les régions caractérisées par une pression anthropique



forte, un relief accidenté et une végétation naturelle en dégradation continue (étendue et taux de recouvrement). Les bassins versants les plus touchés sont Medjerda, Sebkhet El Kelbia et Cap Bon & Méliane.

Tableau 5 : Importance de la superficie des terres touchées par l'érosion hydrique par système hydrologique

Unité Hydrologique DRE	Superficie (ha)	Superficie touchée par l'érosion hydrique (ha)	Importance de la superficie touchée par l'érosion hydrique (ha)	Superficie nécessitant une intervention urgente	%
Cap Bon & Miliane	703844	294601	42	141850	48
Chott El Gharsa	1476633	398182	27	116555	29
Chott Jerid & Sud	2728141	326225	12	164937	51
Extrême Nord & Echkeul	507666	181964	36	120272	66
Extrême Sud	3132253	126800	4	123231	97
Ile de Djerba	51120	1208	2	1208	100
Iles de Kerkena	15260	5493	36	5369	98
Medjerda	1577518	760737	48	430205	57
Sebkhet El Kélbia	1564779	607711	39	280282	46
Sousse & Sfax	1719529	412242	24	235359	57
Sud Est	2045545	409911	20	134752	33
Total	15522287	3525075	23	1754019	50

Parmi les différents processus érosifs agissant à la surface de la terre, **l'érosion éolienne** est à la fois très répandue mais aussi assez méconnue. Dans le domaine du végétal, l'érosion éolienne contribue à la raréfaction et à la disparition de l'arbre, du couvert herbacé et agit enfin au niveau de la matière organique des sols. La disparition de tout obstacle végétal fait ainsi évoluer la rugosité de surface qui, peu à peu, diminue jusqu'à offrir au vent son plus grande fetch et favoriser sa plus grande efficacité. De même, dans le domaine du minéral, la sécheresse intervient au niveau de l'organisation physique du sol, de sa structuration et même de sa texture. Enfin, l'évaporation, exacerbée par le vent, joue aussi son rôle dans la cristallisation des sels et la précipitation d'éléments chimiques, induisant un comportement spécifique des sols vis-à-vis de la déflation. En outre, la sécheresse, en modifiant les caractères mécaniques, hydriques, chimiques et minéralogiques des sols accroît leur érodabilité face au vent.

Selon une publication intitulée « Erosion éolienne au Sahel et sécheresse » (Revue : Science et changements planétaires/Sécheresse - septembre 1994), les problèmes

d'ensablement ont pris une grande acuité en Afrique du Nord où les sables mobiles (parfois fixés en nebkhas mais surtout réactivés en voiles sableux, voir en barkhanes) occasionnent un ensablement préjudiciable aux aires cultivées, aux palmeraies des oasis, au maintien des voies de communication et, parfois, à l'habitat. Selon cette source d'information, c'est la zone présaharienne et la Djeffara qui sont les plus touchées par l'ensablement. En outre et après les inondations de 1969, des formations dunaires sont aussi apparues dans la région de Kairouan. Dans ce contexte, c'est surtout le Centre et le Sud tunisien qui sont particulièrement soumis à l'action de l'érosion éolienne.

Les premiers travaux de protection ont été envisagés vers 1888 dans le Sud-Ouest Tunisien et se sont surtout amplifiés après 1962 qui correspond à la date de la mise en œuvre du premier plan national de développement économique et social qui a accordé une importance particulière à la lutte contre l'ensablement.

Les résultats de cette étude montrent que la superficie des terres touchées par l'érosion éolienne est de 2,7 millions d'ha dont les gouvernorats les plus touchés sont ceux du Sahel (Mahdia, Sousse et Monastir) et du sud tunisien (Gabès, Médenine, Tataouine) en plus de Sfax et du Kairouan. Par ailleurs et se basant sur une thèse de doctorat sur l'érosion éolienne en Tunisie aride et désertique (Khatteli – 1996), les dunes de sables mobiles couvrent une superficie estimée à plus de 2 millions d'hectares, qui confirme les résultats de cette étude.



Tableau 6 : Importance de la superficie des terres touchées par l'érosion éolienne par gouvernorat

Gouvernorat	Superficie totale (ha)	Superficie touchée par l'érosion éolienne (ha)	Importance de la superficie touchée par l'érosion éolienne (ha)	Superficie nécessitant une intervention urgente	%
ARIANA	45154	401	1	401	100
BEJA	368113	2412	1	2266	94
BEN AROUS	67932	2824	4	2128	75
BIZERTE	374878	4505	1	3906	87
GABES	741810	232682	31	122390	53
GAFSA	757990	39066	5	15426	39
JENDOUBA	308276	11402	4	7807	68
KAIROUAN	657419	96706	15	62456	65
KASSERINE	819094	55805	7	39409	71
KEBILI	2249284	378098	17	88532	23
KEF	510910	10315	2	8428	82
MAHDIA	292437	81746	28	44617	55
MANOUBA	113483	0	0	0	0
MEDENINE	936571	357940	38	242512	68
MONASTIR	102806	21053	20	14429	69
NABEUL	283785	13631	5	11571	85
SFAX	699838	299822	43	213251	71
SIDI BOUZID	742030	123476	17	80493	65
SILIANA	461201	4078	1	2389	59
SOUSSE	261762	57640	22	18260	32
TATAOUINE	3824095	842941	22	147444	17
TOZEUR	589212	70046	12	20065	29
TUNIS	29651	1299	4	1183	91
ZAGHOUAN	284561	6894	2	4712	68
Total	15522287	2714781	17	1154074	43

Source : DGAETA, Etude de synthèse de l'état de l'érosion en Tunisie, 2011

Ce constat reste valable pour les systèmes hydrologiques puisque les bassins versants les plus touchés par l'érosion éolienne sont Chott Jérid, Sebkheth El Kélibia et Sousse et Sfax. Elle se manifeste sous forme de déflation dans certaines régions. Les sables mobiles sont présents le long des grands oueds. Dans certains cas, ils peuvent donner naissance à des dunes vives occupées par une végétation claire peu apte à les fixer.

**Tableau 7 : Importance de la superficie des terres touchées
par l'érosion éolienne par bassin versant**

Unité Hydrologique DRE	Superficie totale (ha)	Superficie touchée par l'érosion éolienne (ha)	Importance de la superficie touchée par l'érosion éolienne (%)
Cap Bon & Miliane	703844	32038	5
Chott El Gharsa	1476633	103723	7
Chott Jerid & Sud	2728141	493269	18
Extrême Nord & Echkeul	507666	7279	1
Extrême Sud	3132253	726586	23
Ile de Djerba	51120	7249	14
Iles de Kerkena	15260	9858	65
Medjerda	1577518	24395	2
Sebkhet El Kélbia	1564779	170902	11
Sousse & Sfax	1719529	556759	32
Sud Est	2045545	582723	28
Total	15522287	2714780	17

Source : DGACTA, Etude de synthèse de l'état de l'érosion en Tunisie, 2011

La Tunisie est confrontée à un ensemble de facteurs endogènes et exogènes convergents qui déterminent l'état actuel et induisent des phénomènes de dégradation de deux ordres, érosion hydrique et érosion éolienne. L'érosion hydrique se manifeste avec une certaine gravité au Nord et au Centre et l'érosion éolienne au Sud et au Centre. Ce sont les milieux humides, subhumides et semi-arides qui sont les plus affectés par l'érosion hydrique et les milieux arides par l'érosion éolienne. La salinisation essentiellement secondaire est présente partout mais avec plus d'acuité dans le Centre et le Sud. D'après les résultats de cette étude, la superficie soumise à l'érosion hydrique est de 3,5 millions d'ha dont la moitié est fortement menacée et se présente comme prioritaire à l'aménagement. L'érosion hydrique résulte de la conjonction de facteurs naturels de prédispositions, relief et climat méditerranéen avec fortes averses (70 mm/h avec des pontes exceptionnelles de 200 mm/h) et irrégularité interannuelle importante et les activités humaines (défrichement, surexploitation des forêts et parcours, pratiques culturales impropres) augmentées au cours de ce siècle par la croissance démographique : 2 millions d'habitants et 1,2 millions d'ha cultivés en 1920 contre 9,9 millions d'habitants et 4,7 millions d'ha cultivés actuellement. De même, l'érosion éolienne est évaluée à 2,7 millions d'ha dominant le sud et le Sahel de Sousse et Sfax. La résultante des deux formes de dégradation a donnée une superficie totale de 5,6 millions d'ha. En effet, des combinaisons des différentes

intensités des deux formes d'érosion ont été analysées pour donner un nouveau degré de dégradation dont le moyen et le fort l'emporteront sur l'intensité faible, alors que la combinaison d'une érosion éolienne forte et une érosion hydrique forte donneront une érosion très forte. Cette démarche a été adoptée pour éviter l'addition simple des deux formes d'érosion donnant ainsi un cumul erroné.

Tableau 8 : Importance de la superficie des terres touchées par l'érosion hydrique et éolienne par gouvernorat

Gouvernorat	Superficie totale (ha)	Superficie touchée par l'érosion hydrique et éolienne (ha)	Importance de la superficie touchée par l'érosion hydrique et éolienne (%)
ARIANA	45154	8607	19
BEJA	368113	166389	45
BEN AROUS	67932	31235	46
BIZERTE	374878	155266	41
GABES	741810	347077	47
GAFSA	757990	244970	32
JENDOUBA	308276	81912	27
KAIROUAN	657419	346879	53
KASSERINE	819094	300185	37
KEBILI	2249284	443721	20
KEF	510910	291605	57
MAHDIA	292437	129910	44
MANOUBA	113483	18998	17
MEDENINE	936571	530897	57
MONASTIR	102806	49882	49
NABEUL	283785	119011	42
SFAX	699838	373449	53
SIDI BOUZID	742030	338193	46
SILIANA	461201	292541	63
SOUSSE	261762	115399	44
TATAOUINE	3824095	1015682	27
TOZEUR	589212	106213	18
TUNIS	29651	5230	18
ZAGHOUAN	284561	124278	44
Total	15522287	5637530	36

Source : DGACTA, Etude de synthèse de l'état de l'érosion en Tunisie, 2011

Cette stratégie vise l'aménagement de 700.000 ha de bassins versants, l'entretien et la sauvegarde de 700.000 ha et l'aménagement de 100.000 ha de terres à céréales. On veut atteindre également 1.000 lacs collinaires, 3.000 ouvrages de recharge des nappes et 1.500 d'épandage des eaux.

Les réalisations bien qu'indéniables restent insuffisantes. Ce constat d'une portée limitée de l'action publique est d'autant plus vrai que la longévité des aménagements exécutée est particulièrement faible.

Le tableau 9 présente une synthèse des réalisations des actions de CES durant les trois dernières décennies

**Tableau 9 : Evolution des réalisations de CES
au cours des différentes stratégies**

	1980-1989	1990-2001	2002-2011
Aménagement anti-érosif (ha)	317538	892537	550000
Techniques douces (ha)	19276	70494	50000
Entretien (ha)	35510	337158	550000
Lacs collinaires (nombre)	55	580	500
Ouvrages de recharge et d'épandage	66	3556	3000

Source : DGACTA, 2013

c. Commentaires

- L'érosion est un phénomène dynamique et très complexe qu'il est difficile d'apprécier par un indicateur unique qui soit valable pour toutes les régions climatiques et pédologiques du pays. Sur le plan pratique, une estimation du « taux tolérable des pertes de sols », tel qu'il est préconisé pour le calcul du risque d'érosion selon le contexte local est primordiale pour déterminer les priorités sur une base objective et mieux orienter les efforts gigantesques déployés dans les programmes de conservation des eaux et du sol.
- Ces efforts sont généralement orientés vers des interventions à caractère d'infrastructure à l'extérieur des exploitations agricoles. Des travaux de recherche et de conseils au profit des agriculteurs méritent d'être engagés pour contenir d'une manière efficace les effets de l'érosion à l'intérieur des exploitations agricoles.
- Les travaux cartographiques sur l'érosion réalisés depuis les années 80 sur la Tunisie septentrionale sont à actualiser compte tenu des résultats des trois dernières décennies, ainsi que des acquis scientifiques et techniques récents. Ces travaux sont à étendre pour le Sud.
- Compte tenu des changements climatiques, des études de prospectives dans le domaine de l'érosion seront à engager pour parfaire les indicateurs recommandés.
- Elaboration d'une nouvelle carte pédologique ou enrichir la base actuelle par les informations permettant de mieux décrire le sol et de pouvoir calculer

l'érodibilité des sols (paramètre nécessaire pour l'approche FAO ou de l'équation universelle de perte en sol -Wishmeir)

- Elaboration de la carte de l'occupation du sol (projet à développer en commun avec les directions techniques concernées afin d'harmoniser d'avantage les statistiques nationales) qui constitue la base de l'état actuel de valorisation des sols et la planification des actions projetées. Les travaux antiérosifs et la création des foyers d'irrigation ont permis de changements dans le paysage, résultant de la transformation du système de production. La confection des banquettes mécaniques a été accompagnée de l'extension de la superficie des plantations arboricoles rustiques, du type olivier et amandier, et pastorales pour la consolidation des ouvrages et la protection des berges des oueds. La caractérisation d'une situation de référence permettra de dresser les impacts des aménagements sur toutes les composantes de l'écosystème.
- Elaboration de la carte de vulnérabilité aux inondations afin de localiser et délimiter les zones susceptibles d'être submergées par les eaux de crue et le charriage (dépôts solides) et les possibilités de protection des villes et des infrastructures contre ce fléau.
- Elaboration de la carte de vulnérabilité structurelle et conjoncturelle à la sécheresse pour mieux préserver les écosystèmes des sécheresses prolongées ou aux irrégularités de précipitations dans certaines régions.
- Elaboration de la carte de l'agressivité climatique (changement climatique).
- Définition de manuels de procédure sur la base des expériences acquises (nationales ou internationales): aménagement CES, études d'impact, Analyse coût avantage.
- Acquisition d'un MNT (mission radar : résolution ≤ 30 m).
- Acquisition des images satellitaires à haute résolution pour réalisation principalement de l'occupation du sol et inventaire travaux CES.

Indicateur 6 : Evolution de la piézométrie dans les principales nappes

a - Définition

L'objectif de l'indicateur relatif à « l'indice global de surexploitation des nappes phréatiques » est d'apprécier le niveau d'exploitation des nappes phréatiques manifestant des signes de surexploitation par rapport à leurs potentiels exploitables renouvelables.

Bien qu' I_{es} ainsi que le nombre de nappes affectées soient en baisse, ce qui dénote une tendance globale relative assez favorable, le volume total de surexploitation est en réalité en nette progression.

La méthode de calcul préconisée pour cet indice global « I_{es} » est la suivante. On considère N_i le nombre des nappes phréatiques manifestant des signes de surexploitation ; V_i et VR_i le volume d'exploitation réel et la ressource exploitable de chacune de ces nappes en Mm^3 :

$$I_{se} = \sum N_i \times V_i / \sum N_i \times VR_i$$

I_{es} croissant indique un niveau de surexploitation globale de plus en plus élevé des ressources souterraines de surface, ou bien de nouvelles nappes sont entrées en situation de surexploitation. L'objectif de durabilité est d'atteindre sur une période assez longue des valeurs moyennes de I_{se} proches ou inférieures à 100%. En effet, sur le plan pratique les nappes peuvent subir des légères surexploitations conjoncturelles en raison des sécheresses mais compensées par des années de précipitations supérieures à la normale.

b - Evolution et tendances récentes

Les annuaires relatifs à l'exploitation des nappes phréatiques produits par le MA (DGRE) à une fréquence variable permettent de procéder à certaine estimation de l'indice de surexploitation des nappes phréatiques conformément à la méthode présentée ci-dessus.

A titre d'exemple, le nombre de nappes en surexploitation a atteint 71 en 1995, les volumes réellement exploités étaient de 495 Mm^3 , les ressources exploitables de 332 Mm^3 , soit un indice de surexploitation de 163 %. En 2005, sur les 56 nappes concernées par la surexploitation sont réparties sur 16 gouvernorats. Le taux d'exploitation varie entre 110 % et 265%. Ces nappes se répartissent selon les grandes régions naturelles comme suit : la Tunisie du Nord compte 11 nappes surexploitées localisées dans les six gouvernorats de Jendouba, Kef, Bizerte, Ben Arous, Nabeul et Zaghouan, la Tunisie du centre compte 33 nappes surexploitées localisées dans les sept gouvernorats de Kairouan, Mahdia, Monastir, Sfax, Sousse, Kasserine, et Sidi Bouzid et la Tunisie du Sud compte 16 nappes surexploitées localisées dans les cinq gouvernorats de Gafsa, Tozeur, Gabès, Médenine et Tataouine. Le déficit total de ces 56 nappes est de 193,1 Millions de m^3 , réparties en 88,2 Millions de m^3 , 88,1 Millions de m^3 au centre du pays et 16,8 Millions de m^3 au sud du pays. Les volumes réellement exploités ont atteint 548 Mm^3 sur une ressource exploitable de l'ordre de 355 Mm^3 , soit un déficit de 193 Mm^3 et un indice

de surexploitation de 256 %. Ce taux varie en réalité entre 110 % (côte orientale du cap Bon) et 166 % (Djebeniana-Sfax).

Selon les données (DGRE, 2010), on constate que le taux d'exploitation moyen est de 114% alors que le taux maximum enregistré est au niveau des nappes du Kairouanais qui a atteint 154% puis ensuite les nappes de la Tunisie centrale (119%) et le Nord est (114%).

Tableau 10 : Etat d'exploitation des nappes phréatiques (année 2010)

Nappes phréatiques			
Région	Ressources(Mm ³)	Exploitation 2010(Mm ³)	Taux d'exploitation(%)
NORD OUEST	77	52	67
NORD EST	293	336	114
NORD	371	388	105
TUNISIE CENTRALE	108	129	119
KAIROUANNAIS SAHEL	143	220	154
CENTRE	251	349	139
SUD OUEST	73	71	97
SUD EST	52	47	92
SUD	124	118	95
TUNISIE	746	854	114

De même, les nappes profondes sont contrôlées par 686 piézomètres (2 puits, 624 piézomètres et 60 forages). Les ressources des nappes profondes ont été évaluées à 1421,7 Mm³ tandis que l'exploitation de ces nappes a été estimée à 1243 Mm³ / an ce qui équivalait à un taux d'exploitation de 87,4% (DGRE, 2009).

Tableau 11 : Etat d'exploitation des nappes profondes (DGRE, 2009)

Région	Ressources(Mm ³)	Exploitation 2008 (Mm ³)
NORD OUEST	149.1	43.73
NORD EST	157.3	111.63
NORD	306.4	154.4
TUNISIE CENTRALE	175.8	150.47
KAIROUANNAIS SAHEL	155.2	137.32
CENTRE	331	287.8
SUD OUEST	494.9	606.37
SUD EST	289.4	193.13
SUD	784.3	799.5
TUNISIE	1421.7	1243

L'année pluviométrique 2009-2010 a été déficitaire sur l'ensemble du pays atteignant -22% par rapport à la moyenne. Les régions naturelles du Centre Ouest et Sud Est sont les zones les plus déficitaires ou le déficit varie de 29% à 58%. L'ensemble des nappes phréatiques du pays ont manifesté des baisses piézométriques variables. Les nappes de Grombalia et de la plaine de Kairouan ont enregistré une diminution de 3,74 m et 0,86 m, respectivement. Alors que les nappes profondes du Nord et du Centre sont influencées directement par ce déficit de pluie mais surtout par le degré de surexploitation. Les nappes profondes du sud du pays dont les ressources sont renouvelables manifestent un niveau piézométrique en baisse continue sous l'influence d'un rythme de prélèvement de plus en plus croissant.

c - Commentaires

Les stratégies nationales des ressources en eau ont toujours visé l'argumentation du volume d'eau mobilisable aussi bien de surface que souterraine. La stratégie actuelle accorde une importance capitale à l'économie de l'eau et à la mobilisation des eaux non conventionnelles (eaux usées, eaux dessalées). En plus de la gestion de la demande, elle lutte contre le gaspillage par réduction des fuites et par des stockages lors des années favorables (recharge artificielle des nappes). Le code des eaux, constamment révisé, vise le développement de la ressource et son exploitation rationnelle et garantit la durabilité de la ressource. La stratégie de mobilisation des ressources en eau (2002-2011) vise un équilibre durable entre les besoins et les ressources en eau. Elle vise à ramener le taux de mobilisation à 95% moyennant la construction de 11 grands barrages et de 50 barrages collinaires (capacité 30 millions de m³), création des lacs collinaires. Ce programme prévoit le renforcement de l'interconnexion des infrastructures hydrauliques pour assurer la régulation des stocks des barrages. Les ressources en eaux de la Tunisie sont évaluées à 4840 millions de m³/an. En 2005, le nombre des ouvrages de mobilisation des ressources hydriques totalisant 29 grands barrages, 190 barrages collinaires, 720 lacs collinaires, 4786 puits profonds et 128 000 puits de surface et 98 sources naturelles. Ces installations ont permis de mobiliser 4.170 milliards de m³ d'eau, soit 88.5% des réserves hydriques mobilisables.

L'indicateur relatif à la surexploitation des ressources souterraines à l'échelle nationale reste particulièrement significatif pour les nappes phréatiques considérées dans la majorité des cas à accès libre, donc de gestion peu maîtrisable. Les ressources souterraines profondes ou non renouvelables dans le Sud sont soumis en réalité à un contrôle a priori qui limite dans la majorité des cas la surexploitation à caractère étendu.

- Pour les ressources non renouvelables du Sud, un indicateur important pour l'avenir est la perte de l'artésianisme dans certaines zones même en situation d'exploitation planifiée. Ce phénomène mérite un suivi local particulier en raison de son impact éventuel sur la qualité chimique de l'eau et de l'emploi de plus en plus important de l'énergie nécessaire au pompage

Le plan d'action vise la sécurisation de la desserte en eau potable et d'irrigation, le renforcement de la capacité des ouvrages et des transferts d'eau, le renforcement des programmes de maintenance et de protection des infrastructures hydrauliques, l'interconnexion des barrages du Nord et du Centre pour l'exploitation des excédents d'eau de surface en années excédentaires, la pérennisation des ressources en eau mobilisées (nouvelle génération de barrages de remplacement, dédoublement des organes de transfert, recharge artificielle des nappes, ..., et le dessalement des eaux saumâtres et de mer : zones côtières et Sud Tunisien.

Indicateur 7 : Taux de mobilisation des ressources en eau de surface

a - Pertinence

Un indicateur qui définit le volume des eaux de ruissellement mobilisées pour satisfaire les demandes croissantes des secteurs économiques.

b - Evolution et tendance récentes

la mobilisation des eaux de ruissellement dépend de la pluviométrie annuelle qui varie de 1500 mm au Nord jusqu'à 50 mm au sud. Le volume moyen annuel des eaux de ruissellement est de 36 Milliards de m³ dont le maximum a été atteint 90 Milliards de m³ en 1969-1970 et le minimum a atteint 11 Milliards de m³ en 1993-1994. Les années de sécheresse (ne dépassant pas 3 années consécutives) sont au nombre de 18 sur la période 1900-2010.

Le volume mobilisable des eaux de ruissellement est de 4,66 Milliards de m³ pour un volume potentiel de 36 Milliards de m³. Ce volume a été mobilisé par l'édification de 34 grands barrages, 230 barrages collinaires, 1800 lacs collinaires, 5300 forages et 138000 puits de surface.



Tableau 12 : Evolution de la mobilisation des eaux de ruissellement

Année	1956	1990	2008	2012	2020
Volume mobilisé (Milliards de m3)	0,5	2,6	4,1	4,3	4,6
ouvrages de mobilisation	3 barrages (El Kébir, Mellègue et Béni M'tir), 500 forages et 20000 puits de surface	17 barrages, 22 barrages collinaires, 83 lacs collinaires 1800 forages et 100000 puits	29 barrages, 224 barrages collinaires, 827 lacs collinaires, 5017 forages et 138000 puits	34 barrages, 230 barrages collinaires, 950 lacs collinaires, 5300 forages et 138000 puits	44 barrages, 275 barrages collinaires, 1800 lacs collinaires, 6000 forages et 138000 puits

MA, Direction Générale des Barrages et Grands Travaux Hydrauliques, 2013

c - Commentaires

Dans le but d'augmenter la capacité de mobilisation, des nouveaux grands barrages sont en cours de construction à savoir Douimis, El Melah et Ettine et d'autres sont prévus jusqu'à 2020 les barrages suivants : Mellègue Amont, Tessa, El Kalaa, Saïda, Khalled, Eddir et Chaffrou.

Indicateur 8 : Les dépenses publiques engagées pour la protection des ressources naturelles

- Réalisation des travaux de conservation des eaux et des sols (CES)

a - Définition

Un des indicateurs les plus significatifs des dépenses publiques engagées pour la protection des ressources édaphiques est celui en rapport avec les dépenses concernant les travaux de conservation des eaux et du sol (CES).

On peut mesurer cet indicateur à travers les investissements mis en œuvre au cours de chaque période du Plan de Développement Economique et Social ou bien de chaque stratégie décennale pour la CES et l'aménagement des forêts et parcs. Par ailleurs, on peut aussi ramener ces dépenses publiques pour la CES aux investissements totaux engagées par l'Etat dans l'infrastructure en relation avec les ressources naturelles en général (Eau, CES, Forêts), ceci afin d'apprécier la place de la CES dans « les priorités » que se fixent les pouvoirs publics à un moment donné.

Le présent indicateur est à lier à l'indicateur relatif à « la superficie affectée par l'érosion »

b - Evolution et tendance récentes

Les dépenses publiques consenties pour la CES pendant la première décennie 1990-2001 sont de l'ordre de 407 Millions DT alloués et consiste à :

- Aménagement des bassins versants : 892573 ha,
- Aménagement des terres céréalières : 70494 ha,
- Entretien et sauvegarde des travaux existants: 338496 ha,
- Création des ouvrages d'épandage et de recharge : 3556 unités,
- Création des lacs collinaires : 580.

La deuxième stratégie (2002-2011) a permis de réaliser les actions suivantes et avec des investissements : i) Aménagement des bassins versants : 640829 ha, ii) Aménagement des terres céréalières : 6629 ha, iii) Entretien et sauvegarde des travaux existants: 315633 ha, iv) Correction des cours d'eau : 2347 unités, v) Création des ouvrages d'épandage et de recharge : 2738 unités et création des lacs collinaires : 20

- Au cours de l'année 2012, les travaux réalisés sont :

i) Aménagement des bassins versants 47135 ha, aménagement agro-pastoral 8021 ha et techniques douces : 2144 ha. Ces travaux ont été financés par le programme national (61,194 MD), projet de FCGBV (21.276 MD), programmes de développement agricole intégrés (2,057 MD) et autres projets (250,400 MD) et FOSDA/APIA (666,691 MD)

Sur un autre niveau, il est à signaler que les investissements relativement importants engagés par d'autres programmes, en effet, les projets de développement rural intégré ainsi que les projets des Forêts et Pâturages contiennent souvent des composantes assimilées aux travaux de conservation des eaux et du sol et qui peuvent avoir un impact local assez fort.



**Tableau 13 : Evolution des réalisations physiques
en matière d'aménagement forestier**

Année		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Reboisement	ha	6894	5942	5013	5413	5851	8650	7666	5321	4256	8370	6091
Plantation pastorale	ha	5320	5125	3027	3976	3222	2510	3315	1990	1086	3640	4830
Aménagement pastoral	ha	4859	4700	4675	4137	16188	12990	6645	7927	3078	6410	8300
Construction des tabias	km	401	548	190	140	218	292	234	191	123	315	275
Rehaussement des tabias	km	942	1120	700	817	844	665	613	426	536	900	818
Ouverture des pistes	km	196	97	110	111	73	38	55	28	10	30	30
Entretien des pistes	km	2833	1556	990	2249	2391	363	1702	189	82	1072	1937
Ouverture des TPF	km	51	96	120	29	39	35	21	3	41	92	550
Entretien des TPF	km	1081	951	680	1629	1558	711	912	58	54	825	1520

**Tableau 14 : les investissements réalisés en
matière d'amélioration pastorale**

Unité : mille ha

Année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012*	2013**
Plantation des arbustes fourragers	10176	14507	13543	9709	9904	8971	6292	6265	5186	1177	5036	11457
DGF	4324	5320	5125	3027	3976	3222	3035	3315	1990	1086	3090	4830
OEP	5572	8487	7218	5682	4863	4780	2658	2328	2776	91	1351	6042
ODESYPANO	280	700	1200	1000	1065	969	599	622	420	0	595	585
Aménagement pastoral	12922	14087	15358	16196	13150	28735	16796	17723	19257	10411	15756	20140
DGF	6231	4859	4700	4675	4137	16188	6533	6645	7927	3078	6410	8300
OEP	6201	8123	9574	9341	7307	10331	7713	8183	9370	5933	7917	9500
ODESYPANO	490	1105	1084	2180	1706	2216	2550	2895	1960	1400	1429	2340
Total	23098	28594	28901	25905	23054	37706	23088	23988	24443	11588	20792	31597

Prévisions * réalisations prévues**

c - Commentaires

Les investissements publics constituent l'essentiel de ceux actuellement engagés dans le domaine de la conservation des eaux et du sol, ce qui rend difficile « l'appropriation » des ouvrages par les agriculteurs concernés et expliquent qu'une part non négligeable des investissements est orientée d'une manière cyclique vers la réhabilitation de ces ouvrages. L'implication financière réelle des agriculteurs dans des projets de CES à l'intérieur de leurs exploitations agricoles est à consolider, moyennant des incitations conséquentes. Le programme de CES 2012 a permis de consommer 3925487 JT sur un total disponible de 4337607 journées de travail pour un budget alloué de 38,5 MD, qui représente 63% des montants engagés, à titre d'exemple et de même ce taux a atteint 83% dans le gouvernorat de Gafsa et 86%

dans le gouvernorat de Gabès, autre que la rentabilité faible, les chantiers jouent un rôle à caractère social après la révolution (rapport d'activités DGATCA, 2013).

Le tableau suivant présente l'évolution des investissements en matière de conservation des eaux et du sol et de l'aménagement des forêts et des parcours. Ces investissements sont en moyenne de 10 millions de dinars. Depuis 2011, ces investissements ont augmenté d'une façon importante de 138120 mille dinars en 2011 et à 148600 mille en 2012 et les prévisions de 2013 totalisent ces investissements à un montant de 122580 mille de dinars.

Tableau 15 : Evolution des investissements dans le domaine de conservation des eaux et du sol et aménagement des forêts et parcours

Unité : Mille de dinars

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012*	2013**
Forêts	40316	48762	48524	40275	55593	57136	45650	48700	71440	69780	62480
Stratégie forestière et amélioration des parcours	29617	37939	31508	29960	41733	52700	43000	43000	60600	59700	53000
Projets d'aménagement des aires protégées	500	1500	1500	1500	0						
Projet de reboisement des montagnes de Tataouine	1000	1000	967	815	900	1060	0	0	0	0	
Révision des PV d'aménagement					0		100	65	50	100	100
Aménagement intégré des forêts	9199	8323	14109	6800	9001	63	1500	4915	9950	3500	1700
Biodiversité et gestion des aires protégées			440	1200	3527	2644	250	0	0	0	
Hutte contre l'ensablement					192	309	400	100	0	0	
Opérations diverses					3			300	690	6480	7680
Création d'une ceinture forestière					237	360	400	320	150	0	
Conservation des eaux et du sol	39641	49420	45583	48150	36086	39188	39549	42643	66680	78820	60100
Stratégie de CES	26688	30058	31069	26140	32456	38978	39325	37000	56900	60500	45000
Projet de gestion des ressources naturelles	3553	8262	769	210	130	210	224	1550	4700	5700	5200
Opérations diverses								4093	5080	12620	9900
Projet tuniso-italien de CES	4000	4000	1745	1800	0	0	0	0			
PDA et de gestion des RN	5400	7100	12000	20000	3500	0	0	0			
Total	79957	98182	94107	88425	91679	96324	85199	91343	138120	148600	122580

Source : Budget économique, 2013

Réalisation des travaux de drainage agricole

a - Définition

Le drainage agricole constitue un des moyens les plus indiqués pour protéger les sols irrigués contre l'hydromorphie et la salinisation (voir les indicateurs se rapportant à ces types de dégradation des sols). Les investissements en matière de drainage, à l'instar des investissements en relation avec la CES, peuvent constituer un des indicateurs des dépenses publiques qui sont engagées en vue de protéger les ressources édaphiques.

Généralement ces investissements se rapportent aux aménagements suivants :

- les systèmes d'assainissement et de drainage mis en place à l'occasion de la création de certains nouveaux périmètres irrigués, lorsque les risques d'hydromorphie ou de salinisation sont suspectés par les études de faisabilité de ces périmètres.
- Les travaux de drainage entrepris pour améliorer, consolider, réhabiliter ou moderniser les équipements des anciens périmètres irrigués, lorsque le diagnostic de ces périmètres en révèle l'intérêt ou la nécessité.

b - Tendances récentes

Il est difficile au stade actuel d'estimer d'une manière exhaustive tous les investissements en matière d'assainissement ou de drainage agricole sans se référer aux projets d'irrigation [nouveaux périmètres, projets régionaux de modernisation (APIOS), Périmètres de l'Ariana, etc.)] aux quels la composante relative au drainage y est intimement intégrée. Le tableau suivant présente les investissements réalisés au cours des dernières années.

Tableau 16 : Investissements de drainage et d'assainissement

Unité : Mille dinars

Année	2009	2010	2011	2012	2013
Irrigation agricole	204493	211186	199104	299611	259388
Drainage et assainissement	2820	3730	2590	7740	6975
%	1,38	1,77	1,30	2,58	2,69

Source : MA, budget économique, 2013

c - Commentaires

Les investissements à allouer à la composante « drainage » iront en augmentant dans l'avenir, en fonction de l'élévation du taux d'intensification des cultures dans

les périmètres irrigués et de l'entrée en « maturité » de certains de ces périmètres en fonction de leur susceptibilité aux problèmes d'hydromorphie et de salinisation, particulièrement dans les périmètres de la Vallée de la Medjerda et les oasis du Sud. La contrainte majeure à la durabilité de ces investissements réside dans les insuffisances des crédits nécessaires à l'entretien des ouvrages d'assainissement et de drainage. Les GDA sont généralement peu enclins à consentir une part des redevances d'eau à cette activité, car ils sont plus sensibles au manque d'eau qu'à son excès.



Indicateur 9 : Evolution de l'agriculture de conservation

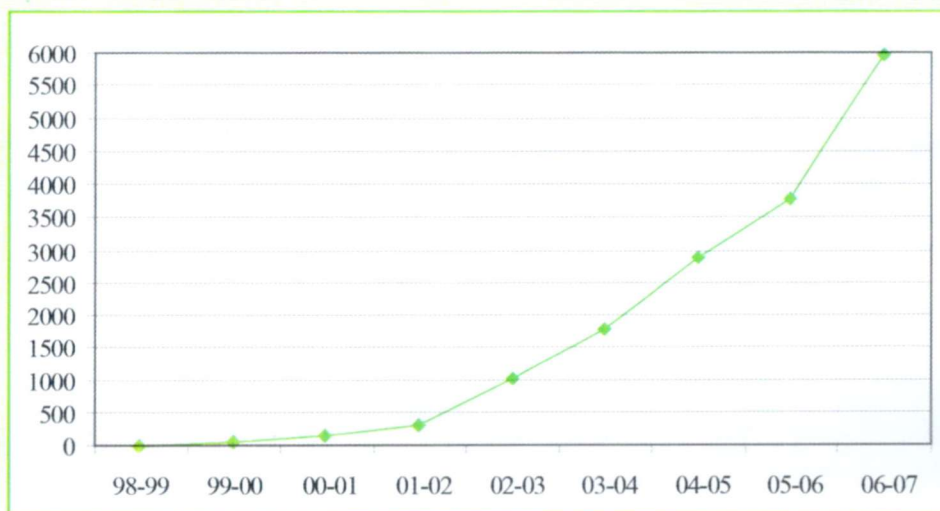
a - Définition

Cet indicateur décrit l'extension de l'agriculture de conservation et du semis direct en Tunisie à travers les superficies emblavées annuellement en semis direct, ce qui renseigne le mieux sur l'évolution de l'adoption du semis direct.

b - évolution et tendance

d'après une étude d'appui à l'agriculture de conservation (CNEA/AFD, 2007), les superficies cultivées en SD sont passées de 7 ha en 1998/1999 à près de 6000 ha en 2006-2007 avec un rythme en accélération, en effet durant la période 2001-2006, la superficie nouvelle cultivée en SD chaque année se situe entre 700 et 1100 ha et celle de l'année 2006-2007 se situe à près de 2200 ha.

Figure 6 : Evolution des superficies sous semis direct (Ha)



L'évolution globale des superficies cultivées sous semis direct cache des disparités très importantes entre les gouvernorats ; les données du tableau 17 montrent que l'évolution la plus marquée, durant les trois dernières campagnes agricoles, se situe dans le gouvernorat de Bizerte situé dans les étages bioclimatiques humide et subhumide.



Tableau n° 17 : Evolution des superficies de SD en ha et en proportion par gouvernorat depuis 2004-2005

Gouvernorat	Superficie en ha			Evolution en %		% du total		
	04-05	05-06	06-07	05-06/04-05	06-07/05-06	04-05	05-06	06-07
Kef	163	287	287*	76%	0%	6%	8%	5%
Siliana	288	274	400	-5%	46%	10%	7%	7%
Beja	482	194	194*	-60%	0%	17%	5%	3%
Jendouba	448	335	350	-25%	4%	15%	9%	6%
Bizerte	1012	2076	4060	105%	96%	35%	55%	68%
Zaghouan	11	20	82	82%	310%	0%	1%	1%
Ben arous	189	298	298*	58%	0%	7%	8%	5%
Manouba	200	300	300*	50%	0%	7%	8%	5%
TOTAL	2893	3784	5971	31%	58%	100%	100%	100%

Source : CTC et CRDA, * données maintenues constantes faute d'information plus précise

La progression est particulièrement importante dans le gouvernorat de Bizerte avec des augmentations de 105% et de 96% respectivement durant les deux dernières campagnes contre 31% et 58% au niveau de l'ensemble des gouvernorats concernés. Ces augmentations sont dues aux efforts de vulgarisation et d'encadrement par les organismes en charge et notamment le CTC, aux efforts de commercialisation des organismes vendeurs d'équipements, et surtout à l'effet démonstratif des expériences de certains agriculteurs de ce gouvernorat dont la réussite se traduit par l'extension des superficies sous semi direct dans leurs exploitations et chez d'autres exploitants.

Des régressions sont enregistrées notamment dans les gouvernorats de Béja et de Jendouba. Ces régressions sont dues à l'abandon du semis direct par des agriculteurs ayant eu des problèmes suite à une extension rapide et mal maîtrisée; c'est ainsi que la Société SEDAN (gouvernorat de Béja) est

retournée au semi conventionnel après avoir obtenu de très mauvais résultats en semis direct sur une culture fourragère en 2004-2005.

L'analyse de l'importance relative des superficies en SD dans les gouvernorats du Nord, montre que non seulement l'évolution la plus rapide est enregistrée dans le gouvernorat de Bizerte, mais que ce gouvernorat concentre de plus en plus le gros des superficies menée en SD avec une proportion de la superficie totale de 35%, 55% et 68% respectivement en 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007.



Indicateur 10 : Nombre d'agriculteur adoptant l'agriculture de conservation

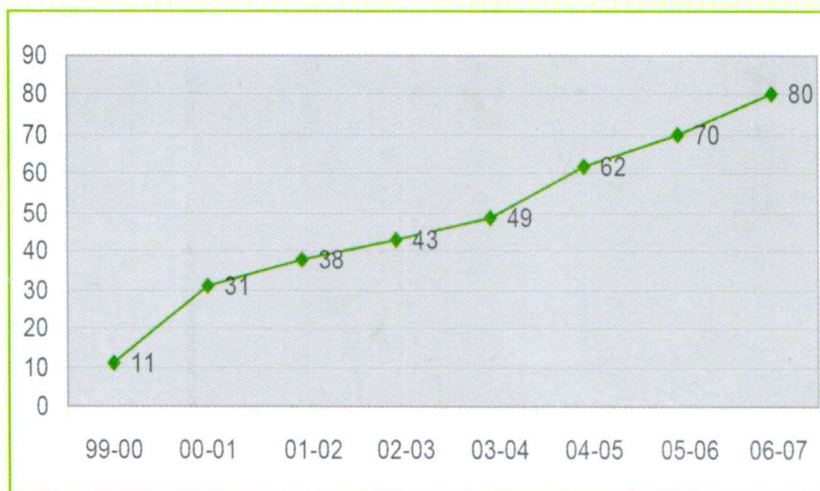
a - Définition

L'évolution de l'adoption du semis direct peut s'apprécier aussi à travers l'évolution du nombre d'agriculteurs pratiquant cette technique.

b - Evolution et tendances

Le semis direct a commencé en 1999-2000 avec 11 agriculteurs pour en concerner près de 80 en 2006-2007. Le nombre d'agriculteurs enregistre ainsi un taux d'accroissement annuel moyen de près de 33%.

Figure 7: Evolution du nombre d'agriculteurs pratiquant le semis direct.



Le gouvernorat de Bizerte compte 16 exploitants pratiquant le SD, soit 20% de l'ensemble des agriculteurs pratiquant le SD dans les 8 gouvernorats du Nord concernés.