Réactions physiques du sol à la sécheresse et aux canicules en régions arides

A. Halitim [1], Y. Abdelhafidh[2], N. Dekki[2] et M. Rechachi[2]

1. Université de Batna I, 2. CRSTRA de Biskra

Résumé

Ces dernières années de nombreux travaux ont rapporté un changement climatique avec des sécheresses et des canicules plus longues, plus fréquentes et plus intenses. Les effets néfastes de ces sécheresses et canicules se répercutent sur aussi bien les ressources naturelles : eau, sol, végétation que les infrastructures et les activités socio-économiques et la santé.
Le sol, compartiment essentiel de la biosphère, ressource fragile et non renouvelable, réservoir d'eau et de matière organique, facteur de production agricole et support de toutes les infrastructures et activités humaines est soumis directement à l'aridité et au changement climatique et notamment à la sécheresse et aux canicules. Ces dernières entraînent la dessiccation du sol dont les conséquences sont physiques, chimiques et biologiques.
Les réactions physiques du sol à la sécheresse et aux canicules concernent essentiellement les paramètres suivants:

- La dynamique du profil hydrique
- La dynamique du profil salin
- La réorganisation structurale du sol.
- Le flux thermique du sol vers l'atmosphère

Ces paramètres sont en relation avec les caractéristiques du sol (texture, type d'argile, humidité, structure, salinité, gypse, qualité et doses d'irrigation, couleur du sol, recouvrement du sol), l'intensité du réchauffement, et le degré hygrométrique de l'air. Les effets entrainent des changements au niveau du comportement et du fonctionnement du sol et de la couverture végétale ainsi qu'une augmentation anormale de la température de l'air.
Les actions à mener pour s'adapter à ces phénomènes naturels que sont la sécheresse et les canicules dans les régions arides est d'agir sur les différents paramètres cités précédemment.

Mots clés : Régions arides, sol, canicule, sécheresse, réactions physiques

Physical reactions of soil to drought and heat waves in arid regions

Abstract

In recent years, many studies have identified longer, more frequent and intense climate change, droughts and heat waves. The adverse effects of these droughts and heat waves are reflected both in natural resources: water, soil, vegetation, infrastructures and socio-economic activities and health. Soil as an essential compartment of the biosphere, a fragile and non-renewable resource, a reservoir of water and organic matter, an agricultural production factor, a support for all infrastructures and human activities, is directly subject to aridity and climate change, drought and heat waves. The latter cause the desiccation of the soil, due to the physical, chemical and biological consequences.

The physical reactions of the soil to drought and heat waves mainly concern the following parameters:

- *The dynamics of the water profile.*
- *The dynamics of the saline profile.*
- *Structural reorganization of the soil.*
- *Heat flux from soil to atmosphere.*

These parameters are related to soil characteristics (texture, type of clay, moisture, structure, salinity, gypsum, quality and irrigation doses, soil color, soil cover), the intensity of the heating and the hygrometric degree of the air. The effects cause changes in behavior, functioning of the soil, vegetation cover, and an abnormal increase in air temperature. The action to adapt to the natural phenomena of drought and heat waves in arid regions is to act on the various parameters mentioned above.

Keywords: *Arid regions, soil, heat wave, drought, physical reactions.*

Auteur correspondant

A. Halitim
Université de Batna

INTRODUCTION

Ces dernières années de nombreux travaux ont rapporté un changement climatique avec des sécheresses et des canicules plus longues, plus fréquentes et plus intenses (GIEC, 2013). Les effets néfastes de ces sécheresses et vagues de chaleurs se répercutent sur aussi bien les ressources naturelles : eau, sol, végétation que les infrastructures et les activités socio-économiques et la santé. Ces manifestations peuvent être directes ou à court terme, telles que les incendies, le manque d'eau d'irrigation voire d'eau potable, perte de récolte ou diminution de rendement des cultures, déficit en fourrage pour les animaux, pertes humaines ou indirectes ou à plus ou moins long terme telles que dégâts sur les infrastructures, changement de vocation des régions, effets sur les sols et les forets et sur les activités socio-économiques (chômage, exode rural, diminution des investissements, diminution du niveau de vie…).

Le sol, compartiment essentiel de la biosphère (Fig.1), ressource fragile et non renouvelable, réservoir d'eau et de matière organique, facteur de production agricole et support de toutes les infrastructures et activités humaines est soumis directement à l'aridité et au changement climatique et notamment à la sécheresse et aux canicules.

Ces dernières entraînent la dessiccation du sol dont les conséquences sont physiques, chimiques et biologiques.n entend ici par sécheresse des sols une diminution de la réserve en eau du sol suffisante pour altérer le bon développement des plantes. Elle peut survenir à n'importe quelle période de l'année et dépend des précipitations de l'ETP et de la réserve utile (RU) des sols. La canicule qui est définie comme un niveau de très fortes chaleurs de jour et de nuit pendant au moins trois jours consécutifs, est imprévisible à long terme et varie avec les régions. Elle est à l'origine des perturbations concentrées dans la partie supérieure du sol, proche de l'atmosphère et où se concentre le système radiculaire qui subit les grandes variations de température. Cela altère le bon développement des plantes d'autant plus fortement que ce dernier est superficiel et que la réserve facilement utilisable est faible.

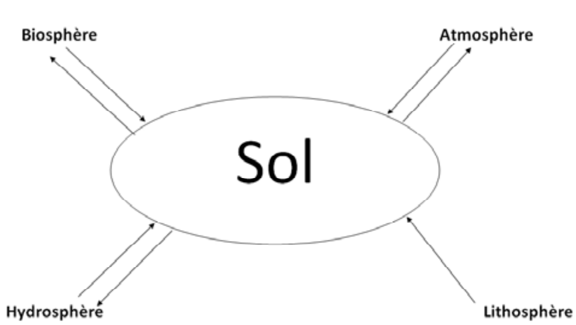

Fig1 : Le sol dans l'environnement.

L'objectif de cette contribution est d'analyser la réponse physique de la couverture pédologique à la sécheresse et aux canicules. en régions arides

I Relations entre caractéristiques du sol et les propriétés thermiques :

La température du sol est influencée à l'échelle locale par des échanges avec l'atmosphère (flux radiatif avec le ciel, convection due au vent, degré hygrométrique de l'air) . Ces éléments varient dans le temps et dans l'espace

Cependant le sol a une grande inertie thermique de par sa masse et son volume. Si la surface du sol se réchauffe et se refroidit presque instantanément, les couches plus profondes mettent plus de temps à se modifier. Mais en général, l'amplitude thermique saisonnière ou journalière diminue avec la profondeur comme le montre la figure 2.

Si le changement de température des couches superficielles est pratiquement instantané, celui des couches profondes se fera avec un décalage dans le temps qui dépend de la texture de la porosité et d'humidité du sol.

La réaction physique du sol à la sécheresse et aux canicules concerne essentiellement les paramètres suivants:

- La dynamique du profil hydrique

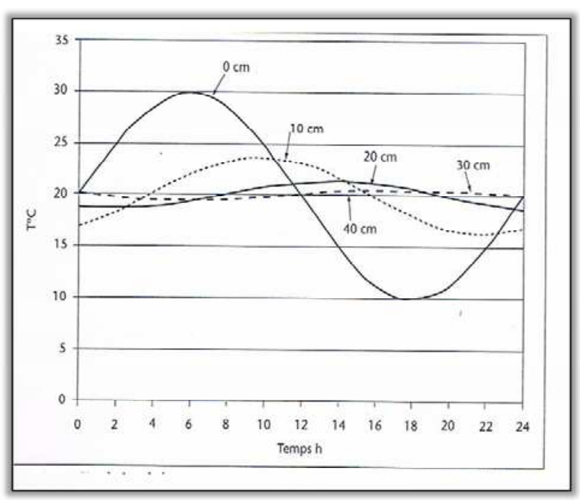

Fig. 2 : Variation de température du sol en surface et à quatre profondeurs (Calvet,2OO3)

- La dynamique du profil salin

- La réorganisation structurale du sol.

- Le flux thermique du sol vers l'atmosphère

Ces paramètres sont en relation avec les caractéristiques du sol (texture, type d'argile, humidité, structure, salinité, gypse, qualité et doses d'irrigation, couleur du sol, recouvrement du sol), l'intensité du réchauffement, et le degré hygrométrique de l'air. Ils entrainent des changements au niveau du comportement et du fonctionnement du sol et de la couverture végétale ainsi qu'une augmentation anormale de la température de l'air.

Les actions à mener pour s'adapter à ces phénomènes naturels que sont la sécheresse et les canicules dans les régions arides est d'agir sur les différents paramètres cités précédemment.

Le sol est le siège d'un stockage et d'un transport de chaleur qui sont déterminés par ses propriétés thermiques qui sont la capacité et la conductivité thermiques (Calvet,2003).

II.1La capacité thermique des sols

La température du sol dépend de la quantité de chaleur reçue et de la quantité de chaleur perdue. L'énergie solaire est le principal facteur. La capacité thermique caractérise l'aptitude d'un matériau à stocker la chaleur. Le tableau 1 donne la grande valeur de la capacité thermique de l'eau liquide par rapport à l'air et aux autres constituants du sol. Il fait ressortir que les sols riches en MO peuvent stocker plus de chaleur que les sols pauvres.

De même du point de vue du comportement thermique les sols très hydratés et les sols riches en MO mettront plus de temps à se réchauffer que les sols secs et pauvres en MO pour un même apport d'énergie.

Tableau 01 : Capacité thermique et conductivité thermique (Musy et Soutter,1991)

Matériau	Capacité thermique $J\,Kg^{-1}\,K^{-1}$	Conductivité thermique $J\,m^{-1}\,s^{-1}\,K^{-1}$
Minéraux	$0.8\ 10^3$	2.90
Matière organique	$1.9\ 10^3$	0.25
Eau	$4.2\ 10^3$	0.585
Glace	$2.1\ 10^3$	2.20
air	$1.0\ 10^3$	2.023

II.2 Conductivité thermique du sol :

Le transfert de chaleur dans le sol a lieu par convection et par conduction.et se traduit par un transport la chaleur.

Le tab.1 montre une grande différence de conductivité entre les constituants du sol. C'est ainsi que l'air a la plus petite valeur de conductivité.

Il se révèle que les Sols riches en MO conduisent mal la chaleur. Ils se réchauffent et se refroidissent lentement.

La conductivité est une fonction croissante de la teneur en eau, mais différente selon les constituants.

(Fig.3). Un sol saturé en eau se réchauffe et se refroidit plus vite et plus pour les sols sableux que pour les sols riches en MO.

III. Le profil hydrique

L'assèchement du sol a lieu par évaporation ou évapotranspiration.

Pour ce faire les facteurs suivants doivent intervenir (Fig.04):

• Un flux de chaleur

• Un gradient d'humidité hygrométrique entre la surface du sol et l'atmosphère.

• Une remontée capillaire d'eau à travers le sol vers la surface d'évaporation.

Une absorption d'eau par les racines.

Si les deux premières conditions dépendent des paramètres climatologiques :

T°, hygrométrie de l'air, vent, les deux dernières conditions dépendent des propriétés du sol et de son hydratation et de la densité racinaire.

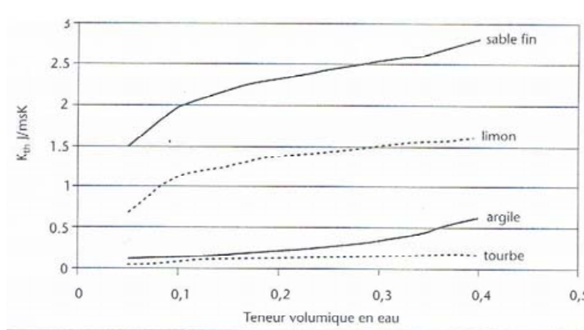

Fig.03: Conductivité thermique de constituants du sol en fonction de la teneur en eau (Musy et Soutter,1991)

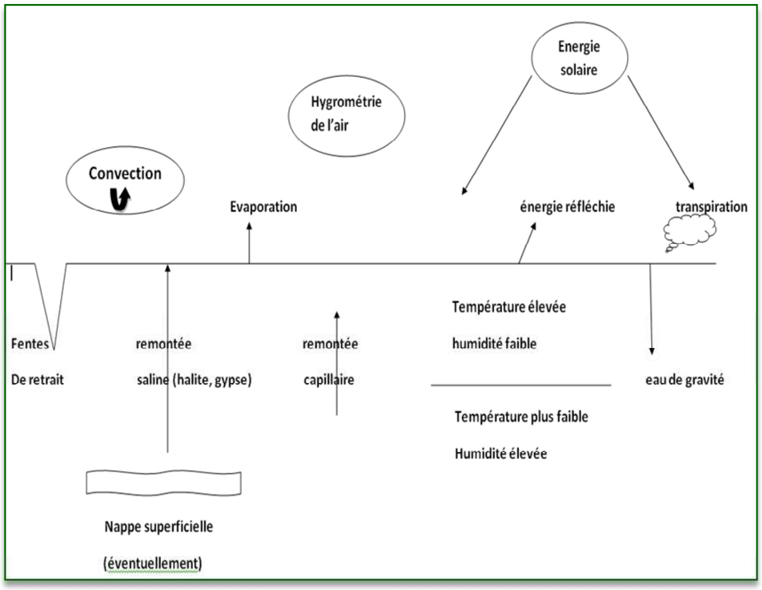

Fig.04: flux de chaleur et dynamique de l'eau dans le sol

I V. Influence de la sécheresse et de la canicule sur la biodisponibilité en eau du sol :

La réserve utile en eau RU est une caractéristique du sol. Elle est indépendante des conditions climatiques.

La RFU (réserve facilement utilisable) correspond à la fraction de la RU en dessous de laquelle la plante devra contrôler sa transpiration en fermant ses stomates. Cette RFU est très variable de 0.4 à 0.8 RU. Elle dépend des caractéristiques du sol et de l'intensité du flux de chaleur.

La canicule entraine par un déséquilibre entre la demande de l'atmosphère et la vitesse de circulation de l'eau une faible RFU et une rupture des remontées capillaires avec une stabilisation du profil hydrique. Celà entraine un effet de stress hydrique sur les plantes.(Fig.05).

Dans le sol d'une région donnée l'eau est soumise à deux potentiels:

- Le potentiel capillaire ou matriciel $Ø_m$ correspond aux forces exercées par la phase solide sur l'eau. Il est d'autant plus fort négativement que la teneur en

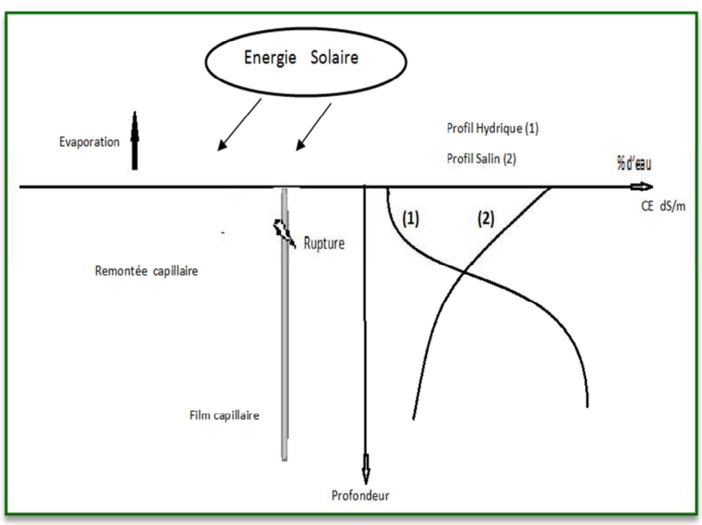

Fig.5: Flux d'énergie solaire et profils hydrique et salin des sols

eau est faible, que les sols sont argileux et que la taille des pores est petite.

- Le potentiel osmotique $Ø_o$ correspond à la concentration de la solution du sol en ions. Il a une grande influence sur la dynamique de l'eau dans le sol, puisque l'évaporation est inversement proportionnelle à la concentration saline. A titre d'exemple pour un même apport d'énergie l'augmentation de la salinité de la solution du sol de 1% diminue l'évaporation de 1%.

- En régions arides le potentiel total ($Ø_t$) est égal à :

- $Ø_t = Ø_m + Ø_o$

- Sous l'effet de la canicule ou de la sécheresse la différence de potentiel total entre deux points explique le déplacement de l'eau dans le sol.

- L'eau se déplace du potentiel total élevé vers le potentiel total faible, par exemple des points à potentiel -330hPa vers ceux à potentiel -1,6MPa

V. Dynamique saline

- Le climat, la végétation et/ ou l'irrigation en régions arides font subir au sol de grandes variations de teneurs en eau entrainant une augmentation de la salinité .

- Les remontées et précipitations de sels varient selon la texture, la porosité du sol et le taux de sels.

Il s'agit de processus complexes qui font intervenir le transport d'eau sous forme de liquide, de vapeur d'eau et des solutés

- Le sol s'assèche plus rapidement dans les horizons de surface de fait de l'évaporation naturelle du sol et de la forte densité racinaire qui occasionnent des remontées capillaires et salines (Fig.5) avec succession verticales et horizontales de dépôt de gypse et de sels

- La canicule en accentuant l'évaporation concentre encore plus les solutions salines avec des effets néfastes sur le sol et les plantes.

- Le sol s'assèche plus rapidement dans les horizons de surface de fait de l'évaporation naturelle du sol et de la forte densité racinaire qui occasionnent des remontées capillaires et salines (Fig.5) avec succession verticales et horizontales de dépôt de gypse et de sels

VI. Réorganisation structurale

Sous l'action du climat, et/des irrigations le sol en régions arides subit de fortes variations de teneurs en eau entrainant des changements de volume

L'ampleur de ces changements dépend :

- Du pédo-climat essentiellement l'humidité et la température de la couverture pédologique

- De la teneur et de la nature de la fraction argileuse

- De la teneur en gypse

Le gonflement provoqué par l'augmentation de l'hydratation du matériau et le retrait (photo 2) de ce dernier à la suite de la dessiccation provoquée par l'augmentation de la température, ont des conséquences très graves sur le fonctionnement des sols, sur le système radiculaire des plantes et sur les infrastructures.

Ces phénomènes sont fortement exprimés dans les

Photo.1 Efflorescences salines (oued Rhir) (Lakhdari,2014)

Photo.1 Efflorescences salines (oued Rhir) (Lakhdari,2014)

sols argileux où la

fraction argileuse est représentée par les minéraux gonflants, tels que les smectites ainsi que dans les sols sodiques.

Ces phénomènes sont fortement exprimés aussi dans les sols gypseux où ce minéral subit des changements de volume à la suite des cycles d'humectation et de dessiccation provoquant la déshydratation réversible:

Gypse ($CaSO_4$ $2H_2$ O) ---à.Hémihydrate ($CaSO_4$ $1/2H_2$ O)

- Des dégâts peuvent être constatés lors de nucléation ou précipitation de cristaux de gypse dans les fissures des infrastructures et des ouvrages linéaires tels que les routes, les voies ferrées, les tuyauteries enterrées, les aérodromes.

- Ces processus très fréquents en régions arides en présence d'une nappe superficielle provoquent des pressions sur le matériau gypseux pouvant atteindre $1100Kg/cm^2$.

- D'où l'importance de la prise en considération des caractéristiques des sols qui rendent compte des propriétés de gonflement –retrait et leur relation avec le climat (Tessier, 2OO6).

VII. Le flux thermique du sol vers l'atmosphère

Les sols dégagent un flux de chaleur qui fait augmenter de façon anormale la température de l'air. Il accentue la canicule. Cette dernière est très sensible à la sécheresse du sol.

Les sols secs réfléchissent plus l'énergie du soleil en chaleur dans l'atmosphère. Ils ont un fort albédo. Il en est de même des sols nus, de texture sableuse, de couleur blancs et pauvres en matière organique.

Un sol blanc et sec est plus chaud qu'un sol noir et humide et il va réchauffer plus l'air au dessus de celui ci.

Si le sol est sec, l'évapotranspiration n'est pas possible, de même que l'évaporation possible de l'eau contenue dans le sol ou dans les plantes. Or, ces processus consommeraient une grande partie de l'énergie du soleil (ONERC, 2015)

Le sol est un réservoir d'énergie en lien avec les fluctuations climatiques (journalières, saisonnière, pluriannuelles,). Il induit des inerties thermiques qui modulent les fluctuations du climat par des retards dans le réchauffement ou le refroidissement (ONERC, 2015).

Quand les teneurs en MOS sont élevées la rétention en eau est plus élevée. Ainsi en emmagasinant l'eau, les sols riches en matière organique améliorent la résilience aux sécheresses et aux canicules.

VIII. Effet oasis

Selon leur situation les sols subissent différemment les effets des vagues de chaleurs. Au Sahara et à l'intérieur de l'oasis règne un microclimat (effet oasis), créé sous la protection du palmier : humidité, chaleur et lumière propice aux systèmes de culture et au comportement du sol.

A l'intérieur de l'oasis, trois éléments du climat saharien sont modifiés : la luminosité, la turbulence des vents et l'évaporation, sont atténués par rapport au climat saharien (Toutain, 1979;Dubost,2002) (tab.2).

Tab.2: Effet oasis (Riou, 1990

Climat environnant	Micro climat crée par l'oasis
- Chaud et sec - Fortes amplitude thermiques - Déficit hydrique important - Vitesse du vent élevée	- Teneur en eau du sol plus élevée et maintenue - Rugosité dynamique augmentée

C'est ainsi que sous oasis, les températures au sol sont inférieures d'environ 8°C par rapport au sol nu.

De même que l'humidité de l'air est supérieure sous oasis (entre 70 et 100%), ce qui diminue sa capacité à stocker de l'eau provenant de l'évaporation. Il est rapporté une évaporation moitié moins élevée sous oasis que dans la steppe environnante .

L'évapotranspiration est plus lente (ETP diminuée de 30%), la canicule est moins intense, la remontée capillaire est ralentie sans rupture, la RFU est plus élevée, la concentration saline est plus faible par rapport à l'extérieur (tab.3).

L'effet oasis élimine la forte sécheresse de l'air du désert et tamponne les canicules qui dessèchent le sol, accentuent le déficit hydrique et diminuent la photosynthèse ; il augmente l'hygrométrie et atténue la turbulence du vent diminuant ainsi la capacité de l'air à absorber l'humidité provenant du sol.

Pour les cultures sous jacentes le flux d'énergie incident est diminué de même qu'à cause de l'hydratation du sol, d'une couleur plus sombre, le flux d'énergie réfléchi est moins dense. Cela se traduit par une évapotranspiration plus faible favorisant la photosynthèse.

Au sein de l'oasis les amplitudes de dessiccation et de réhumectation des sols sont atténuées.

Ces écosystèmes oasiens constituent par conséquent une solution essentielle à l'adaptation au changement climatique et notamment à la sécheresse et aux canicules.

Tab.3: Moyenne de quelques variables du sol sur une couche de 100 cm à l'intérieur et à l'extérieur de l'Oasis d' Oumache (Biskra) .

Paramètres physico-chimique		Intérieur de l'Oasis	Extérieur de l'Oasis
pH		7,98	8,65
CE (m S/cm)		**6,1**	**69,6**
Gypse (%)		**26,71**	**0,49**
Calcaire total (%)		13,75	13,85
Calcaire actif (%)		12,25	7,63
C (%)		1,31	1,12
Cations (méq/l)	Ca^{++}	29,56	35,57
	Mg^{++}	25,82	95,17
	Na^{+}	**56,29**	**857,81**
	K^{+}	1,07	9,38
Anions (méq/l)	Cl^{-}	**90**	**1090**
	$SO4^{-}$	33,44	13,89
	$HCO3^{-}$	5,75	5,5

IX. Perspectives et conclusion

La sécheresse et les canicules représentent une menace sérieuse pour notre société à cause notamment des effets néfastes sur son alimentation et son environnement dont son compartiment essentiel qu'est le sol.

Ces évènements extrêmes ont des incidences sur la dynamique de l'eau, sur la matière organique et les processus mis en œuvre dans les sols. Et par conséquent sur les plantes et les cultures.

Nous avons vu qu'ils provoquent un dessèchement excessif des sols dont les conséquences sont néfastes en régions arides.

Aussi une gestion durable des écosystèmes exige sa limitation pour conserver l'humidité du sol.

Pour ce faire deux facteurs sont pris en compte :

- L'apport d'énergie incidente qu'il faudra limiter grâce à des techniques d'ombrage et en créant un microclimat de type oasis.
- Le déplacement de l'eau liquide qu'il faudra limiter, en limitant l'évaporation au sol.

•A ce sujet de nombreuses techniques peuvent être utilisées dont l'objectif est de favoriser la macroporosité qui ne permet que le transport d'eau sous forme de vapeur.

- La technique du mulch qui permet de limiter l'évaporation du sol d' économiser l'eau. Cela consiste à mettre à la surface du sol ou juste dans la couche de surface des matériaux grossiers (paille, écorces..)
- La technique des travaux superficiels des sols (labours superficiels, binage…) qui rompe la continuité des films capillaires jusqu'en surface en plus que détruire les plantes adventices.
- Afin d'éviter que les plantes souffrent en période de fortes chaleur et que des phénomènes de retrait des sols gonflants et gypseux aient lieu les irrigations doivent être fréquentes pour que l'humidité du sol soit au dessus de a RFU.
- Par ailleurs une gestion durable des sols fait appel à des pratiques permettant l'augmentation de la Réserve utile en eau des sols telle que la gestion du statut organique des sols et éviter des pratiques inappropriées qui réduisent celle ci telles que les labours, le surpâturage, la surexploitation.
- Finalement la température et l'eau représentent les principaux facteurs de l'évolution, du fonctionnement et du comportement des sols.

Références bibliographiques

Calvet R. 2003- LE SOL- Propriétés et fonctions. Tome 2. Editions France Agricole. 511p.

Dubost D.2002 – Ecologie, Aménagement, Développement agricole des oasis algériennes. 423p. Editions du CRSTRA Biskra.

GIEC 2007- Bilan 2007 des changements climatiques- Rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge University Press.

Lakhdari F.- 2014- L'agriculture Saharienne, hier, aujourd'hui et demain ? Conférence – Salon de la recherche. Oran 2014.

Musy A. et Soutter M. – 1991- Physique du sol. Presses polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne.

ONERC, 2015. SOLS : quel est le lien entre séche-resse et canicule ?

Tessier D. – 2006- Analyse comparative de politiques de prévention du risque de « sécheresse géotechnique ». Rapport final- 278p- INRA – Unité de science du sol. Versailles.

Toutain G. 1979- Eléments d'Agronomie sahariennes. Editions des Allées des zones arides. Paris 273p.