

1. Etat de connaissance sur le genre *Atriplex*

1.1.Présentation générale des Chénopodiacees

Les Chénopodiacees constituent en beaucoup de régions chaudes, moins en zones purement tropicales, ce que les colons anglais ont depuis longtemps appelé les « salt bushes », buissons salés, en raison de leur aptitude à prospérer sur formations que les écologistes dénomment « salt lands, salt deserts, salt steppes » selon leur constitution. Toutes ces régions ont une flore herbacée ou fruticée halophile, constituée par des associations couvertes d'espèces en général peu nombreuses. Ces formations se rencontrent un peu partout sur le globe, et leur flore varie évidemment avec le climat. On en trouve en Afrique du Nord, dans le Sahara, en Afrique méridionale, dans l'Asie orientale et centrale, en Amérique du Sud et du nord. La nature du sol est telle qu'il est impropre à toutes les autres plantes.

Ces plantes ont une caractéristiques dominantes, elle consiste en l'adaptation à un sol riche en sels, leur résistance à la sécheresse se traduit par un développement racinaire considérable ; elles ont des feuilles entières, succulentes, avec un revêtement particulier qui paraît velu. Moins prisés par les herbivores quand ils ont à leur disposition d'autres plantes, néanmoins elles sont avidement dévorées quand ils ne trouvent qu'elles.

D'autres Chénopodiacees croissent ailleurs que sur les terrains salés; on les rencontre sur des sols pauvres, sablonneux, des déserts et subdéserts, de sorte que, comme les salt bushes, elles représentent un apport nutritif important au niveau de ces régions, particulièrement en saison sèche. Certaines, comme les *Atriplex*, sont adaptées à des conditions de sol très variées, à la chaleur et à la sécheresse. Les *Atriplex*s sont d'aspects variés, elles composent en partie la famille des Chénopodiacees qui ont attirés l'attention des expérimentateurs à la recherche de plantes fourragères qui puissent constituer des terrains de parcours en élevage extensif.

L'objectif final étant de cultiver ces plantes pour la conservation du sol et la production d'aliment pour le cheptel. Les essais furent nombreux en Australie, en Afrique du Sud, en Amérique; plus timides en Afrique du Nord et dans quelques pays africains. De ces recherches, il résulta que plusieurs *Atriplex*, méritaient d'être répandus dans leur habitat et parfois bien en dehors de celui-ci. Mais, à mesure que se précisaient les résultats encourageants d'autres recherches concernant l'amélioration des pâturages subtropicaux et tropicaux par des graminées et des légumineuses à écologie presque semblable à celle des *Atriplex*, une défaveur atteignait les Chénopodiacees. Il n'en reste pas moins qu'il est

des conditions de sol et d'élevage dans lesquelles elles ne peuvent être remplacées et les *Atriplex* trouvent leur place sans concurrence aucune.

1.2. Description botanique des Chénopodiacées

Les chénopodiacées sont d'une étude délicate, la petitesse de leur fleurs, la fragilité de leurs rameaux et de leurs fruits, rendent difficile la récolte d'échantillons complets. Beaucoup d'espèces se ressemblent, même d'un genre à un autre et surtout certaines d'entre elles présentent un polymorphisme étonnant qui fait que l'aspect de la plante varie d'un pied à l'autre suivant l'état de développement et la saison (Ozenda, 1977). Les chénopodiacées sont en générale des plantes bruissantes, rarement des herbes, quelques genres ont des feuilles à limbe plat et bien développé (*Atriplex Bêta*, *Chénopodium* etc....) mais très souvent les feuilles se réduisent à une graine entourant la tige et terminée par un limbe réduit à une pointe coriace, les rameaux présentent alors un aspect articulé. Les feuilles sont toujours petites, peu visibles, cachées en partie entre les bractées, la floraison est en générale automnale, le périanthe est formé de cinq pièces ordinairement membraneuses, persistantes, autour du fruit, dans une partie des genres. Elles ne subissent pas de modifications appréciables, mais souvent elles s'accroissent après la floraison, chez l'*Atriplex* elles forment des ailes verdâtres triangulaires, soudées entre elles en cachant le fruit. Les étamines sont en nombre variable, généralement inférieure à cinq, l'ovaire comporte une seule loge contenant un ovule ; il est surmonté généralement par deux stigmates ; à maturité, il donne un akène à paroi mince laissant apercevoir le contour de la graine de sorte que la forme et l'orientation de celle-ci peuvent souvent être observée sans qu'il soit nécessaire de disséquer le fruit. Cette graine est ordinairement aplatie en une lentille, disposée suivant les genres dans le plan vertical, ou horizontale, cette orientation de la graine est importante à examiner pour séparer les genres que leur morphologie rapproche beaucoup. La classification des chénopodiacées repose essentiellement sur la structure de la graine et la forme de l'embryon.

Les chénopodiacées représentent à peu près plus de 100 genres et un millier d'espèces. Ce sont essentiellement des plantes des terrains salés vivant surtout sur climat aride ou semi-aride : le bassin méditerranéen et le Sahara, steppes et désert de l'Asie centrale, Australie, Afrique du sud, moyen orient et les deux Amériques. Les Chénopodiacées sont largement répandues dans les habitats salins tempérés et subtropicaux, en particulier dans les régions littorales de la Mer Méditerranéenne, de la Mer Caspienne et de la Mer Rouge, dans les steppes arides de l'Asie centrale et orientale, aux marges du désert du Sahara, dans les prairies

alcalines des Etats Unis, dans le Karoo en Afrique méridionale, en Australie, et dans les Pampas argentines. Elles poussent également comme des herbacées sur les sols riches en sel des zones habitées, surtout en présence d'écoulements d'eau et de terrains accidentés. Du point de vue morphologique, les Chénopodiacées sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, et des feuilles alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration. Certains genres ont des tiges pulpeuses, à courts segments inter nodaux et sont entièrement dépourvues de feuilles, ce qui donne aux plantes un aspect singulier semblable à celui d'un cactus. Les fleurs, peut visibles et regroupées en inflorescences en épi ou à cyme, sont petites, hermaphrodites ou unisexuelles et sont pollinisées par le vent. Les pétales et les sépales, très semblables, sont généralement constitués par cinq, trois ou deux lobes de couleur marron ou verdâtre. Généralement, les anthères, en nombre égal ou à peine inférieur à celui des segments du périanthe, sont disposées au Sommet de l'ovaire ou sur un disque. L'ovaire est constitué par une seule loge, trois Carpelles et deux étamines; il produit un seul ovule qui en mûrissant produit un akène (Rosas, 1989). A cette famille appartiennent environ cent genres qui peuvent être divisés, suivant la forme de l'embryon, en deux tribus:

- *Spirolobae*, qui présentent un embryon enroulé en spirale et l'endosperme est divisé en deux parties par l'embryon;
- *Cyclobae*, qui présente un embryon en forme de fer à cheval ou en demi-cercle, comprenant l'endosperme en entier ou en partie.

A cette dernière tribu appartient le genre *Atriplex* (Rosas, 1989). Celui-ci compte plus de quatre cent espèces réparties dans les différentes régions arides et semi-arides du monde; il est particulièrement répandu en Australie où on peut déterminer une grande diversité d'espèces et de sous-espèces. La fleur, dont la morphologie est souvent utile pour l'identification, est enveloppée par deux bractéoles, d'une consistance généralement foliacée, qui permettent de distinguer les espèces en fonction de leur forme et si elles se présentent ou non soudées les unes aux autres. Les espèces du genre *Atriplex* sont caractérisées par le haut degré de tolérance à l'aridité et à la salinité; et pour procurer des fourrages riches en protéines et en carotène. Par ailleurs, elles ont la propriété de produire une abondante biomasse foliaire et de la maintenir active durant les périodes défavorables de l'année. Beaucoup d'espèces à des genres différents se ressemblent, paradoxalement un grand nombre d'espèces manifestent un étonnant polymorphisme qui se traduit de façon courante entre plusieurs pieds d'une même plante, aux rameaux même d'un seul pied. Plusieurs d'entre elles possèdent une résistance

élevée à la sécheresse et à la salinité et se caractérisent par leur richesse en protéines *Atriplex halimus*, *Atriplex nummularia* (Ozenda, 1977). L'analyse des pollens des chénopodiacées rencontrés dans les sédiments Sahariens a permis la représentation de cette famille dans le passé. Deux groupements ont été définis caractérisant chacun un milieu particulier (sols salés des lits d'oueds). L'étude des chénopodiacées est déconcertante. En effet, la petitesse de leur fleur, la fragilité de leur fruit et de leurs rameaux rendent difficile la récolte d'échantillons complets. L'aspect de la plante varie d'un pied à un autre voire d'une branche à l'autre et le dispositif alterné ou superposé des pièces florales dépendent souvent de l'origine phylogénétique de la plante considérée (Rosas, 1989).

1.3. Le genre *Atriplex*

Le genre *Atriplex* est le plus grand et le plus diversifié de la famille des Chénopodiacées et compte environ 200 espèces réparties dans les régions tempérées et subtropicales; on trouve également des exemplaires de ce genre dans les régions polaires, bien qu'en nombre très réduit. Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques (Rosas, 1989; Par-Smith, 1982). Il comprend surtout des plantes herbacées vivaces et, plus rarement, des arbres et des arbustes. Les espèces appartenant à cette famille sont halophytes. Elles sont donc en mesure de vivre sur des sols au taux élevé de sels inorganiques. Souvent, il s'agit de composants dominants des marécages salés et, vu que les sols salins sont typiques des milieux arides, de nombreuses espèces présentent également des adaptations xérophytiques. Elles poussent également comme des herbacées sur les sols riches en sel des zones habitées, surtout en présence d'écoulements d'eau et de terrains accidentés.

Le genre *Atriplex* renferme des espèces de plantes d'une morphologie très variable. Elles peuvent être vivaces ; en forme de sous-arbrisseaux ou herbacées annuelles. Les *Atriplex* sont d'une couleur verte ou faiblement blanchâtre, ou encore blanche argentée. Les feuilles de ces plantes sont hastées ou lancéolées, caractérisées par un limbe bien développé, toujours apparent, dilaté, plane, entier ou lobé. Les plantes de ce genre ont comme caractère commun des fleurs unisexuées, monoïques ou dioïques et parfois elles peuvent être hermaphrodites. Les fleurs mâles sont sans bractées mais elles possèdent un périanthe composé de 4 à 5 sépales entourant 3 à 4 étamines. (Quezel et Santa, 1962). Par contre, d'après Bonnier et Douin (1994), elles ont 2 sépales qui sont comme aplatis, libres ou soudés entre eux, où il se trouve 3 à 5 étamines insérées à la leur base. Ces derniers auteurs décrivent les fleurs femelles comme étant dépourvues de bractées et possédant un calice à 5 sépales. L'ovaire est

uniloculaire et uniovulé lié à 2 styles filiformes, soudées entre eux dans leur partie inférieures. Le fruit est membraneux, à contour ovale et comprimé entre les 2 bractées de la fleur femelle ou hermaphrodite. La graine est lenticulaire, noire et disposée verticalement (Quezel et Santa, 1962 ; Bonnier et Douin, 1994).

1.4. Systématique du genre *Atriplex*

Parmi les espèces les plus ou moins vulgarisées, cinq seulement présentent un réel intérêt pratique imposé par leur large utilisation et leurs larges exigences écologiques ayant permis leur développement dans le cadre de programmes de mise en valeur des terres et d'amélioration des parcours en zones arides : *Atriplex halimus*, *Atriplex canescens*; *Atriplex mollis*, *Atriplex glauca*, *Atriplex nummularia*.

Ces espèces appartiennent la famille des Chénopodiacées

Règne : végétal

Sous règne : phanérogames

Embranchement : Spermaphytes.

Sous-embranchement : Angiospermes.

Classe : dicotylédones.

Sous-classe : caryophyllidées.

Ordre : caryophyllales.

Famille : chénopodiacées.

Genre : *Atriplex*

Espèce : *Halimus*, *Nummularia*, *Canescens*...

1.5. Botanique succincte des espèces étudiées

a. *Atriplex halimus*

Embranchement : Phanérogames ou Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Endicots

Sous classe : Préastéridées

Ordre : Caryophyllales

Familles : Amaranthacées

Genre Espèce : *Atriplex halimus* L.

Noms vernaculaires : Pourpier de mer, Aramass (Quezel et Santa, 1963), Gtaf en Algérie (Ozenda, 2004) et Chenane en Maroc.

NB : Récemment, la famille des Chénopodiaceae est remplacée par la famille des Amaranthaceae.

Espèce très polymorphe, étalée sur toute la région méditerranéenne, les côtes de l'Atlantique et de la manche. Selon (Kinet et al. 1998) l'*Atriplex halimus* est une plante native d'Afrique du nord. Arbuste de 1 à 3 m de haut, très rameux, multicaule, formant des touffes pouvant atteindre 1 à 3 m de diamètre. Cette espèce peut avoir une allure dressée ou étalée, érigée ou intriquée (Mozafar et Goodin, 1970). Les feuilles sont assez grandes et font 2 à 5 cm de longueur 0,5 à 1 cm de largeur (Quezel et Santa, 1962). Elles sont alternes, pétiolées, ovales, plus au moins charnues et couvertes de poils vésiculeux blanchâtre ou globuleux appelés trichomes (Franclet et Le Houérou, 1971). Elles peuvent être entières ou légèrement sinuées, parfois aiguées au sommet et trinervées (Mozafar et Goodin, 1970).

Les fleurs sont monoïques, nues, avec des inflorescences en panicule d'épis terminal (Pottier, 1979). D'après Franclet et Le Houérou (1971), les valves fructifères sont cornées à la base. Les graines sont d'une teinte roussâtre. Selon Le Houérou (1992, 2000), *Atriplex halimus* comprend deux sous espèces : *Atriplex halimus subsphalimus* et *Atriplex halimus subsp schweinfurthii*.

b. Atriplex nummularia

Embranchement : Spermaphytes (Phanérogames)

Sous embranchement: Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Apétales

Ordre : Centrospermales

Famille : Amaranthaceae (Chénopodiaceae)

Genre : *Atriplex*

Espèce : *canescens*(Pursh) Nutt.

Dans sa terminologie originelle (Etats-Unis), il est connu sous le nom de «Forwing saltbush ». Espèce originaire d'Australie, rencontrée dans toutes les zones arides et semi-arides. Arbuste érigé, ascendant, plus au moins rameux, de 1 à 3 m de haut, plante dioïque se propageant souvent par marcottage, les feuilles alternes, de 2,5 à 5 cm de longueur sur 2 à 5 cm de largeur, grise verdâtre, pétiolées, à poils vésiculeux blanchâtres et trinervées. Inflorescences mâles en épis aphylls, groupées en panicules terminales. Inflorescence

femelles en grappes feuillées. Valve fructifère presque libre, arrondie, épaisse et indurée à la base (Franclet et Le Houérou, 1971).

c. *Atriplex canescens*

Embranchement Spermaphytes (Phanérogames)

Sous embranchement: A n g i o s p e r m e s

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Apétales

Ordre : Centrospermales

Famille : Amaranthaceae (Chénopodiacées)

Genre : *Atriplex*

Espèce : *Canescens*(Pursh) Nutt.

Dans sa terminologie originelle (Etats-Unis), il est connu sous le nom de «Forwing saltbush », dans le sens de buisson salé. Son nom arabe est aussi le **G'ttaf**. Espèce originaire du Nord West américain, se trouve au Colorado, Utah, Wyoming, Nevada, New Mexico, Ouest du Texas et au Nord du Mexique. Arbuste buissonneux de 1 à 3 m de haut, formant des touffes de 1 à 3 m de diamètre. Port plus au moins intriqué, rameaux blanchâtres, les feuilles courtement pétiolées, entières, alternes, linéaires, lancéolées, uninervées, et grisâtre, de 3 à 5 cm de longueur sur 0,3 à 0,5 cm de largeur, accompagnées de feuilles axillaires plus petites (0,5 à 1,5 sur 0,1 à 0,3 cm). Inflorescence dioïque en épis simple ou paniculée au sommet des rameaux pour les mâles, axillaires ou en épis subterminaux pour les femelles. (Franclet et Le Houérou, 1971).

1.6. Biologie et Ecophysiologie

Au cours de la germination, les *Atriplex*, comme toutes les halophytes, se trouvent confrontés aux problèmes de salinité. En général, dès que la salinité du milieu augmente la vitesse et le taux de germination baissent (Belkhodja et Bidai, 2004 ; Ajmel et al., 2000).

Toutefois, la capacité de germination d'*Atriplex halimus* n'est pas altérée par une imbibition de 5 jours dans un milieu contenant 50 g/l de NaCl. Chez cette espèce, l'inhibition de la germination et surtout attribuée à l'effet osmotique de NaCl (Katembre et al., 1998). Selon Bouzid et Papaastasis (1996), l'imbibition des graines pendant 24 heures avec l'eau de pluie puis leur séchage à l'ombre augmente le pourcentage de germination de 52 à 70%.

Batanouny (1996), souligne que les espèces halophytes germent dans leurs habitats salins natifs, où cette germination est sensiblement affectée par les relations d'eau, car le NaCl inhibe la germination en limitant l'absorption de l'eau. Il est aussi à noter que la germination des graines de différentes espèces dans un même habitat ne se passe pas en même temps, il y a une distribution temporelle de cette germination tout au long des saisons.

D'après Hamdy (1996), la germination, l'émergence et la croissance tardive des plantules d'halophytes sont les périodes les plus critiques pour obtenir une bonne position. Les pertes dans les densités des plantes pendant ces périodes ne peuvent être compensées et causeront une perte équivalente dans la production. Selon le même auteur la croissance des plantes est affectée par le niveau de la salinité de la solution du sol. Paradoxalement, la croissance et le développement des halophytes exigent un niveau minimum de salinité pour être stimulés. D'après Badji et al. (1998) ainsi que Belkhodja et Bidai (2004), l'*Atriplex halimus* reste capable de croître en présence de 300 mM de NaCl et reste en vie quand il est confronté à 600 mM qui est une dose élevée dépassant celle de l'eau de mer (500 mM). Chez les halophytes, la reproduction végétative se présente comme un mécanisme bien adapté, vu que plusieurs entre elles sont réduites par des limites écologiques étroites. En effet, il a été observé, chez plusieurs espèces d'*Atriplex*, tel que *A. canescens*, que la reproduction végétative a pris l'avantage sur la reproduction sexuelle, à tel point que la reproduction végétative est devenue un moyen privilégié de reproduction (Barrow, 1997). A titre d'exemple, la multiplication d'*A. halimus* est réalisée par division des rejets alors que chez *A. nummularia* elle se fait par bouturage.

1.7. Potentiel écologique et économique de l'*Atriplex*

1.7.1. Intérêt fourrager

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins, les caprins et les camélidés (Castroviejo et al., 1990). Sous des précipitations annuelles de 200 à 400 mm, l'*Atriplex halimus* compte avec *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*, parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de matière sèche par an et par ha de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (Le Houerou., 1992; Ben Ahmed et al., 1996). Cependant, la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'*Atriplex halimus* en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

1.7.2. Mise en valeur des sols pauvres

Les *Atriplex* sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et au sol pauvres, d'autre part, la couverture d'*Atriplex* accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Le repeuplement à base de buissons fourragers du genre *Atriplex* constitue une excellente solution au problème de la désertification. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé. Elles sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole irrégulière. Les *Atriplex* permettent également de remettre en état de nombreux pâturages à flore et sols dégradés. En Algérie les essais réalisés dans les régions de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'*Atriplex* dans le cadre du "barrage vert" ont donné des résultats satisfaisants (Benrebiha, 1987).

1.7.3. Mises en valeur des sols salés

Les plantations d'*Atriplex* peuvent permettre la récupération des zones salées, particulièrement résistantes au NaCl. La croissance de l'*Atriplex* est stimulée en présence de NaCl à 150 Mm (Ben Ahmad et al., 1996) cas de l'*Atriplex halimus*. Les *Atriplex* peuvent aussi "désaliniser" les sols. En effet la teneur en NaCl atteint 20% de la matière sèche pour *Atriplex nummularia* (Sarson, 1970). IL est possible d'extraire d'un hectare 1100 Kg de NaCl en une année de culture (Franclet et Le Houerou, 1971). Les *Atriplex* sont donc des plantes qui peuvent être utilisées dans les régions menacées par la salinité. D'après Le Houerou et Pontanier (1987), les espèces d'*Atriplex* qui ont suscité un intérêt particulier sont: *Atriplex glauca*; *Atriplex malvana*; *Atriplex repanda*; *Atriplex atacamensis*; *Atriplex mollis*; *Atriplex semibaccata*; *Atriplex halimus*; *Atriplex canescens*; *Atriplex vesicaria*. Selon ces auteurs, cinq espèces seulement présentent un réel intérêt pratique dans un avenir immédiat :

- *Atriplex nummularia*: en raison de sa productivité élevée et sa bonne appétibilité;
- *Atriplex halimus*: en raison de sa grande rusticité et de sa facilité d'implantation;
- *Atriplex canescens*: en raison de sa haute productivité et son adaptation aux sols sableux;
- *Atriplex glauca*: en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle anti-érosif;
- *Atriplex mollis*: en raison de son adaptation aux sols hydromorphes salés et de sa bonne appétibilité.

2. Caractérisation de la zone d'étude

2.1. Présentation générale de la zone d'étude

La région avait fait l'objet de diverses études antérieures, les premières remontent à la fin du XIX^{ème} siècle. Les travaux floristiques de (Reboud, 1875 ; Battandier Et Trabut, 1888- 1889 ; Cosson Et Kralik, 1888 ; Maire, 1906 In Bouzenoune, 1984).

Des travaux plus récents concernant les études phytosociologiques et phytoécologiques de la végétation de cette région ont été réalisés par : CRBT, 1978 ; Djellouli, 1981 ; Nedjraoui, 1981 ; Aidoud, 1983 ; Bouzenoune, 1984 ; Boucheneb, 1986 ; Aidoud-Lounis, 1997 ; Zemiti, 2001 ; Omari, 2005 ; Labani, 2005 ; Yahiaoui, 2012 ; Bessaiah 2014.

La Steppe Algérienne constitue une vaste région couvrant environ 20 millions d'hectare de la zone aride de l'Algérie du nord (Djebaili, 1984) ; elle est comprise entre les deux Atlas, le Tellien au Nord et le Saharien au Sud (Figure.1) ;

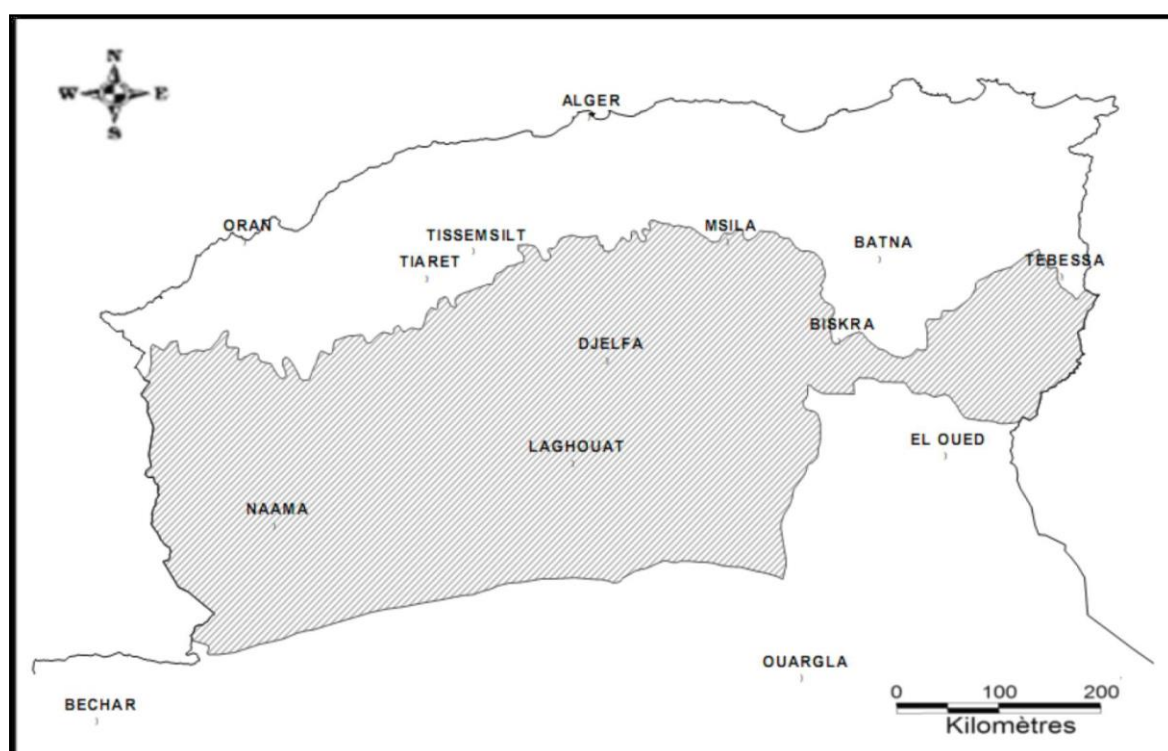


Figure1. Délimitation de la Steppe Algérienne (Source :NEDJRAOUI, 2002)

Cet espace se compose de trois ensembles :

- Les hautes plaines algéro- oranaises (terminaison es hautes plaines Algéro- Oranaises et une partie des hautes plaines de Tébessa).

- Atlas saharien (Monts des Ksour, Djebel Amour ; Mont de Ouled Neil ; Mont de M'Zab et Nementcha).
- Le piémont Sud de l'Atlas saharien (au Sud des monts du M'Zab, de l'Aurès et des Nementcha)

2.2. Situation géographique

C'est dans l'ensemble géographique et de hauts plateaux que se situe la wilaya de Saida qui est limitée naturellement au Sud par le chott Chergui. Localisée au nord-ouest de l'Algérie elle est limitée au nord par la wilaya de Mascara, au sud par celle d'El Bayadh, à l'est par la wilaya de Tiaret et à l'ouest par la wilaya de Sidi bel Abbès.

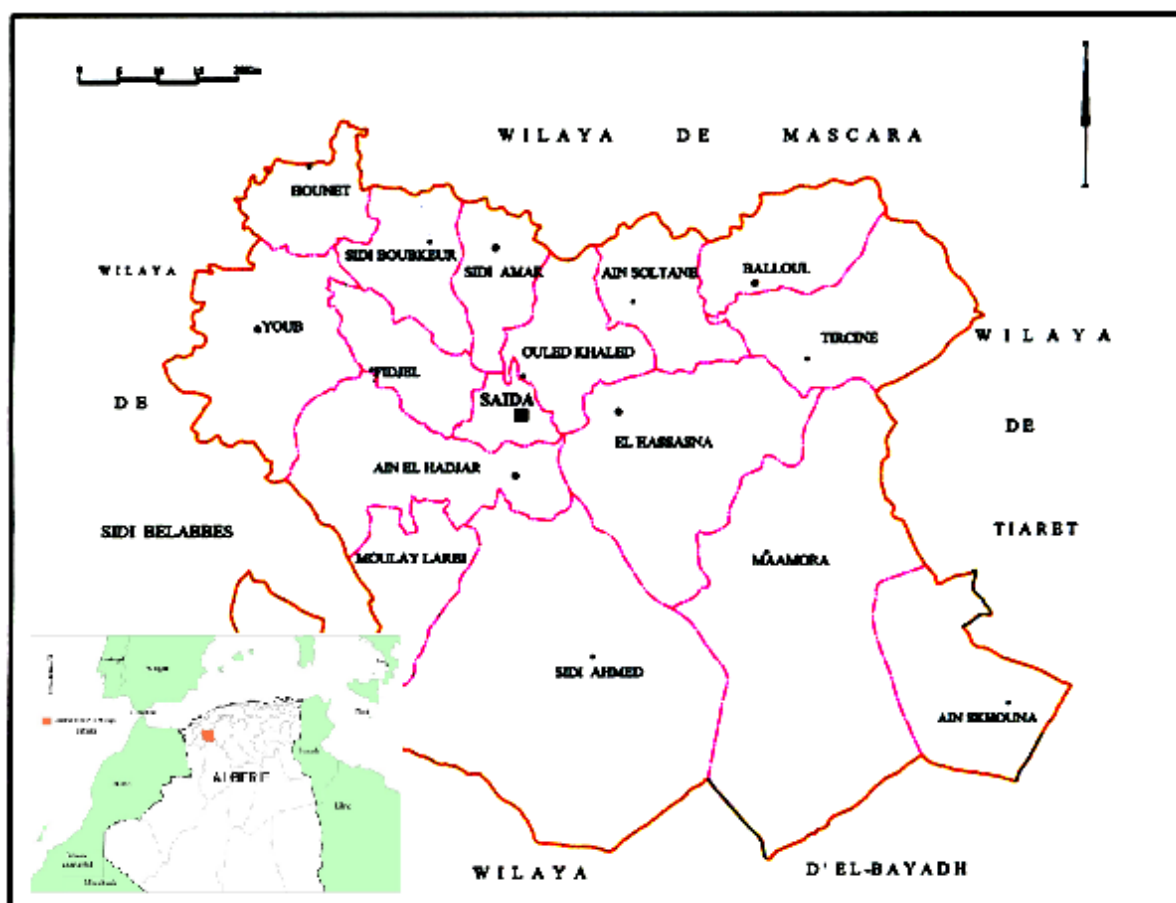


Figure 2. Découpage administratif de la wilaya de Saida. (Source : D.P.A.T., 2012.).

Cette position qui lui donne un rôle de relais entre les wilayas steppiques au sud et les wilayas telliennes au nord, correspond en fait à l'extension du territoire de la wilaya de Saida sur deux domaines naturels bien distincts, l'un est atlasique Tellien au nord et l'autre est celui des hautes plaines steppiques.

Sa position entre le nord, la région steppique et pré-saharienne lui confère, un rôle de carrefour de transit et d'échanges et une fonction de relais pour le Sud. Cette situation stratégique de la ville est confirmée par le passage d'importants axes routiers au niveau régional et national. (Route nationale 6).

2.3. Géologie :

Selon LUCAS (1952) Le territoire de la wilaya de Saida est constitué essentiellement de terrains secondaires ; généralement de grès jurassiques et crétacés à dureté variable suivant le degré de consolidation de même que des couches calcaires, marneuses ou dolomitiques. Les dépressions et les vallées sont recouvertes de terrains d'origine continental (fluviales et éoliens) d'âge Tertiaire souvent indifférencié (Mio-Pliocène) et Quaternaire de manière étendue. Une formation plus ou moins épaisse de strate rougeâtre, sablo- argileuse d'âge Tertiaire où un recouvrement de croûte calcaire y est rencontré, de façon variable. Cet encroûtement représente une fossilisation de la surface topographique constituée par des alluvions tertiaires continentales.

La région est aussi caractérisée par la présence de tufs et travertins calcaire correspondants à d'anciens griffons de source. La succession stratigraphique et lithologique est représentée par des formations allant du Primaire au Quaternaire avec toutefois des lacunes stratigraphiques de même que des variations latérales de faciès et d'épaisseurs. (Figure.3)

Le Quaternaire se distingue par des dépôts alluviaux de limons et de cailloutis (oued Saida) des couches calcaires concrétionnées (croûte). Il comble les grandes dépressions et vallées, Constituées de travertins à végétaux (affleurement à Saida et à Tifrit) ou de limon plus ou moins sableux recouvrant les carapaces calcaires.

Le Tertiaire : les terrains tertiaires datés du Miocène et du Pliocène sont essentiellement formés d'argile sableuses et gypseuses avec des niveaux calcaires, des niveaux à graviers ou galets avec parfois des niveaux de base grossiers plus ou moins lenticulaires. L'ensemble peut atteindre une assez grande épaisseur comme à chott chergui (superficie sub-tabulaire). Il affleure également près d'Ain El Hadjar au Nord du plateau des Hassasna et au Nord de Saida.

Le Secondaire : Il représenté dans la région par une épaisse série sédimentaire, riche en formations carbonatées qui repose en discordance sur le socle Primaire. Le jurassique

inférieur débute au sommet par un Toarcien marno-calcaire, qui change d'un endroit à un autre par exemple des marnes noduleux (Ain Balloul) ou dolomitiques gris à rouge lie de vin (Sidi Abdelkader), calcaires marneux (gorge d'Oued el Abd). Le Domérien est constitué par des calcaires jaunâtres. Il est représenté à la base par un ensemble calcaire à concrétion et à stratification soulignée par des intercalations marneuses surmontées par une série dolomitique dont la base est constituée d'un ensemble de dolomies micro-cristalline (au Nord d'Ain El Hadjar, oued Balloul et près de la cascade de Tifrit).

Le Primaire : Il est représenté par des schistes et quartzite de Tifrit, cet ensemble ancien daté du Silurien très plissé affleure dans la vallée d'oued Tifrit et les vallées affluentes, c'est à l'intérieur de cet ensemble que l'on peut noter la présence d'intrusion granitique et granulitique ainsi que des coulées de laves basaltiques. La tectonique de la région se traduit par une tectonique souple souligner dans la région par des plissements et des ondulations des couches des différentes formations géologique ; et une tectonique cassante donnant naissance à des rejets assez importants. Une série de synclinaux et d'anticlinaux orientés sud-ouest-nord est y bien représentée. Les anticlinaux (plateaux de Saida) présentent une direction anticlinale principale et plusieurs directions anticlinales perpendiculaires à celle-ci dont la principale dirigée nord-sud passant par la vallée de Tifrit.

La superposition de ces deux directions de plissement s'est traduite par la formation de vastes dômes à grands rayons de courbure, eux même subdivisés en dômes plus petits du fait des directions anticlinales secondaires, donnent séparément des cuvettes. Ces dômes et ces cuvettes se remarquent d'ailleurs dans la topographie car le relief a plus ou moins épousé leurs formes. On a ainsi les dômes de Tifrit, Ain Soltane, djebel Khenifer, djebel Sidi Youcef ...). Une grande cuvette s'étend au nord du plateau de Hassasna dans la région d'Oum-Djrane, oued Foufot, Tamesna et Tircine.

Des structures faillées apparaissent à la périphérie des anticlinaux, elles correspondent à l'accentuation des mouvements de plissement dans des matériaux relativement cassants et rigides tels que les calcaires et dolomie. Les principales failles de la région s'alignent dans une grande direction l'une nord-est-sud-ouest, l'autre nord-ouest donc plus ou moins perpendiculaire. Les failles périphériques s'incurvent d'ailleurs fréquemment, telle que la faille de Saida, on note ainsi de nombreuses failles droites de faibles rejets, sillonnant les formations calcaires dolomitiques en un réseau dense.

2.4. Orographie

La wilaya de Saida est située dans le nord-ouest de l'Algérie cernée au nord-ouest par la wilaya de Sidi-Bel-Abbes, au nord-est par la wilaya de Mascara, à l'Ouest par la wilaya de Tlemcen, à l'Est par la wilaya de Tiaret et au Sud par celle d'El Bayadh. Cette position lui donne un rôle de relais entre les wilaya steppiques au Sud et les wilaya telliennes au Nord. Elle correspond en fait à l'extension du territoire de la wilaya de Saida sur deux domaines naturels bien distincts. L'atlas tellien au Nord et les hautes plaines steppiques au Sud.

Dans le détail, la wilaya de Saida est délimitée au plan naturel comme suit :

A l'Ouest et au Nord-Ouest par les Monts de Daia, successivement par les lignes de crêtes des Djebels Tazenaga, Tennfeld, Nser et El Assa. Au Nord et nord-est par les Monts de Saida, successivement par les lignes de crêtes des Djebels Yehres, Bel-Hadj, Bel Aoued, Mekhnez et Touskiret. A l'Est, la limite correspond à l'extrémité Est du Djebel Sidi Youssef qui appartient normalement à l'ensemble orographique des Mont de Saida mais qui s'en détache légèrement vers le Sud . Alors qu'au Sud et sud-ouest (le territoire de la wilaya s'ouvrant sur les hautes plaines steppique), il n'existe pas de limites naturelles bien nettes.

2.5. Hydrologie

Etant donné la disposition du plateau de Saida, légèrement bombé au centre et descendant en pente douce vers ses bordures, l'hydrographie de la région permet d'y distinguer plusieurs bassins superficiels (Deschamps, 1973 In Labani, 2005). Les plus importants sont (figure 3) :

- Bassin de l'oued Saida : il s'agit du haut cours d'eau de l'oued Saida, celui-ci prenant sa source près d'Ain El Hadjar (Ain-Tebouda Sud-Ouest d'Ain El Hadjar). La superficie du plateau dolomitique intéressée par ce bassin est d'environ 115 km². L'oued est à écoulement durable. A Charrier (sidi Boubker), la superficie du bassin est de 560 km². Ses nombreux affluents, dont les plus importants sont l'oued Nazreg, l'oued Massif et l'oued Taffrent, sont alimentés également à partir des sources de ruissellements sur les hauteurs des montagnes.
- Bassin de l'oued Tiffrit : Il s'agit du haut cours d'eau de l'oued Taria. L'oued Tiffrit prend sa source au plateau de Hassasna avec l'oued Foufot, il présente un écoulement pérenne. La partie du plateau dolomitique couverte par ce bassin peut être évaluée à 600 km². A Taria, il couvre 1806 km². Ils'écoule dans une vallée assez profonde aux

berges parfois escarpées, de nombreux affleurements viennent grossir l'écoulement de ces cours d'eaux tels que l'oued Belloul et l'oued Minouma.

- L'oued Berbour à l'ouest des montagnes, qui est un important apport des oueds Bouatrous, conflue avec l'oued Sefioun pour donner l'oued de Hounet.
- Bassin d'oued El Abd : il s'agit du haut cours d'eau de l'oued El Abd, celui-ci prend sa source au Djebel Derkmous. Il présente un écoulement pérenne. A Takhemaret, la superficie du bassin versant de l'oued El Abd est de 560 km².

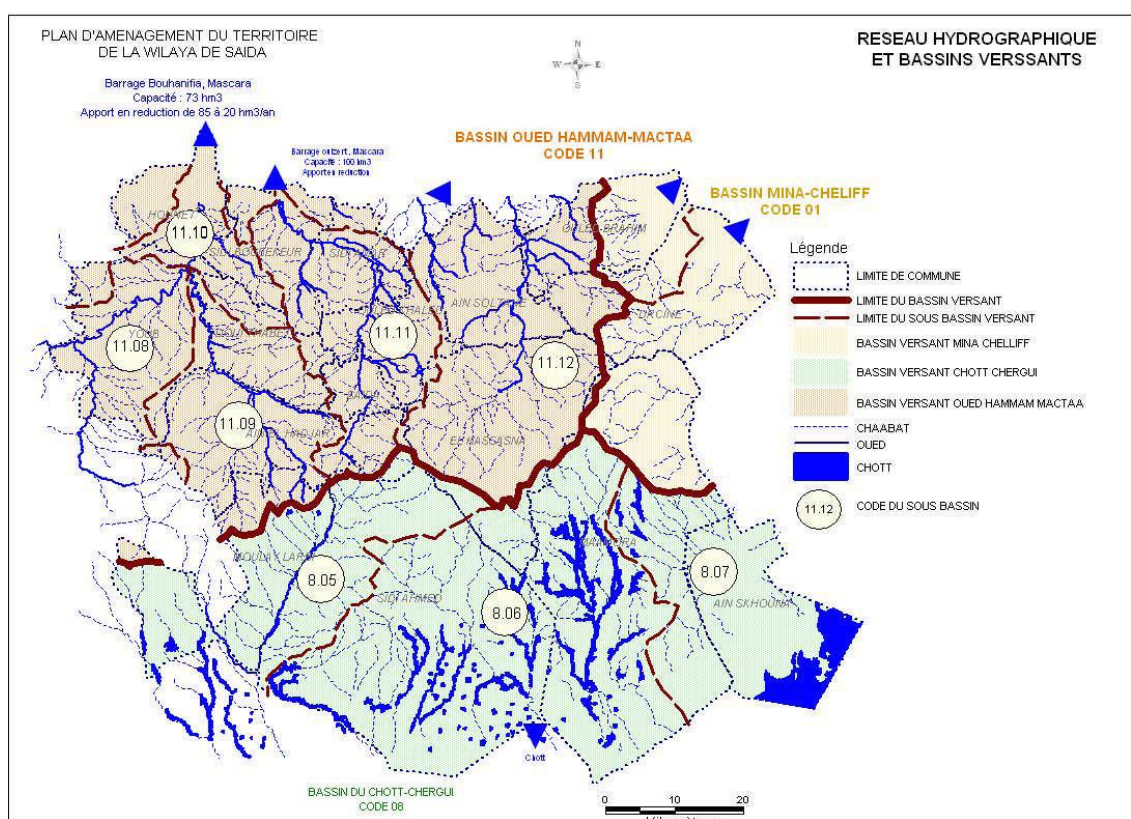


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique et bassins versants de la wilaya de Saida (Source : D.P.A.T., 2008).

- Bassin du Chott Ech-cherGUI : il s'agit de la bordure Nord de la dépression du Chott et la surface intéressant le plateau de Saida. Il s'étend sur près de 250 km². L'écoulement dans ce dernier bassin se fait vers le Sud (l'oued Falette), alors que dans les autres bassins, il s'effectue vers le Nord.

2.6. Caractéristiques édaphiques

Les travaux de cartographie, de phytoécologie et de pédologie réalisés dans la région

(S.A.T.E.C, 1976 ; Halitim, 1988 ; B.N.E.D.E.R, 2008 ; Terras, 2011) indiquent que les types de sols rencontrés sont (figure 4) :

Les sols alluviaux (peu évolués)

Ces sols sont très répandus sur les lits des oueds, les dépressions et aux bordures du chott. Dans cette catégorie nous pouvons distinguer quatre types de sols :

Les sols alluviaux des plaines et des terrasses alluviales : Ces sols sont les plus intéressants du point de vue de leur qualité édaphique, leur texture souvent équilibrée à lourde et leur profondeur appréciable généralement supérieure à 80 cm.

Les sols remaniés de Dayet Zeraguet : Ces sols sont aussi d'origine alluviale mais se distinguent des autres sols de dayas parce qu'ils ont fait l'objet de travaux d'aménagement qui leur ont conféré des caractéristiques nouvelles par rapport aux sols alluviaux des dayas. Les sols de Dayet Zeraguet se caractérisent par une profondeur variant entre 50 et 80 cm, une texture lourde et quelques traces de salinité.

Les sols alluviaux des bordures de chott : Ils sont localisés en bordures du chott Ech-cherghi suite à des dépôts d'alluvions sableux et limoneux. Ce sont des sols minéraux de très faible taux de matière organique avec une profondeur inférieure à 50 cm et une salinité un peu élevée. Ils sont généralement couverts par une mince pellicule de sables ou voile sableux dû à la déflation.

Les sols alluviaux des lits des oueds : Ce sont des sols d'origines alluviales (limons et sables) déposés dans les larges lits des oueds (Oued Falette). Leur profondeur est très variable allant de 20 cm à plus de 100 cm. Lorsque les colluvions ne sont pas nombreuses, ces sols permettent de réaliser des emblavures de céréales en profitant de leur humidité.

Les sols bruns

A cette catégorie appartient les sols bruns calcaires, les sols bruns à caractère vertique et les sols bruns rouges.

Les sols bruns calcaires : Ils sont assez étendus sur les collines du Nord et Nord-Ouest de la wilaya (région de Daoud). Ils sont en général peu épais et pauvres en matière organique. Toutefois, leur épaisseur est variable même si elle atteint rarement 50 cm et ce sont les sols travaillés ou supportant des cultures céréalières qui sont plus profonds que les sols des parcours. Les pierres et les cailloux sont omniprésents dans ces sols et seuls quelques champs de la taille de dizaines d'hectares ont été épierrés. De plus, la croûte calcaire sous-jacente largement étendue affleure en divers endroits, de même que ces sols sont lessivés en surface par le ruissellement diffus (décapage).

Les sols bruns à caractère vertique : Ils s'étendent en général sur la partie méridionale à l'intersection des deux faces tellienne et steppique allant du Sud-Ouest à l'Est de la wilaya (plateau de Hassasna- Moulay Larbi). Ces sols ont une profondeur variable au gré de la topographie (50 à 80 cm). Leur texture est lourde et si ce n'est leur caractère vertique (hydromorphie de surface), ils conviennent mieux à la céréaliculture. Par endroit, ce sont de véritables dayas situés au Nord-Est de la région de Moulay Larbi.

Les sols bruns rouges

Parmi ce type de sol on trouve : Les sols bruns rouges à horizon humifère, Les sols bruns rouges méditerranéens peu évolués, Les sols bruns rouges méditerranéens à texture légère, Les sols bruns rouges méditerranéens sous formations steppiques.

Les lithosols

Ils sont assez étendus et se retrouvent sur presque tous les versants dénudés. Ils sont en général peu épais (moins de 20 cm) et très morcelés ou discontinus laissant la place aux affleurements rocheux. Ces sols portent parfois une broussaille ou un maquis très dégradés. Outre les affleurements de la roche mère (calcaire, grès ou dolomie) le ravinement y est intense. Les sols halomorphes, Les sols hydromorphes, Les sols des plaines et vallées, Les sols des montagnes

Les sols des plateaux telliens et des hautes plaines steppiques

Il n'est tenu compte ici que des plateaux de Hassasna et de Moulay Larbi parce qu'en réalité ce qui les qualifie de montagnes précédemment appartient aussi à l'ensemble des plateaux telliens. Les sols de Moulay Larbi et Hassasna sont bruns et profonds, mais affectés par l'hydromorphie de surface. Ils sont néanmoins de bons sols convenant particulièrement à la céréaliculture. Les autres sols répartis dans les zones steppiques (maigres sols rouges, sols alluviaux, hydromorphes et halomorphes) n'offrent pas un grand intérêt agronomique.

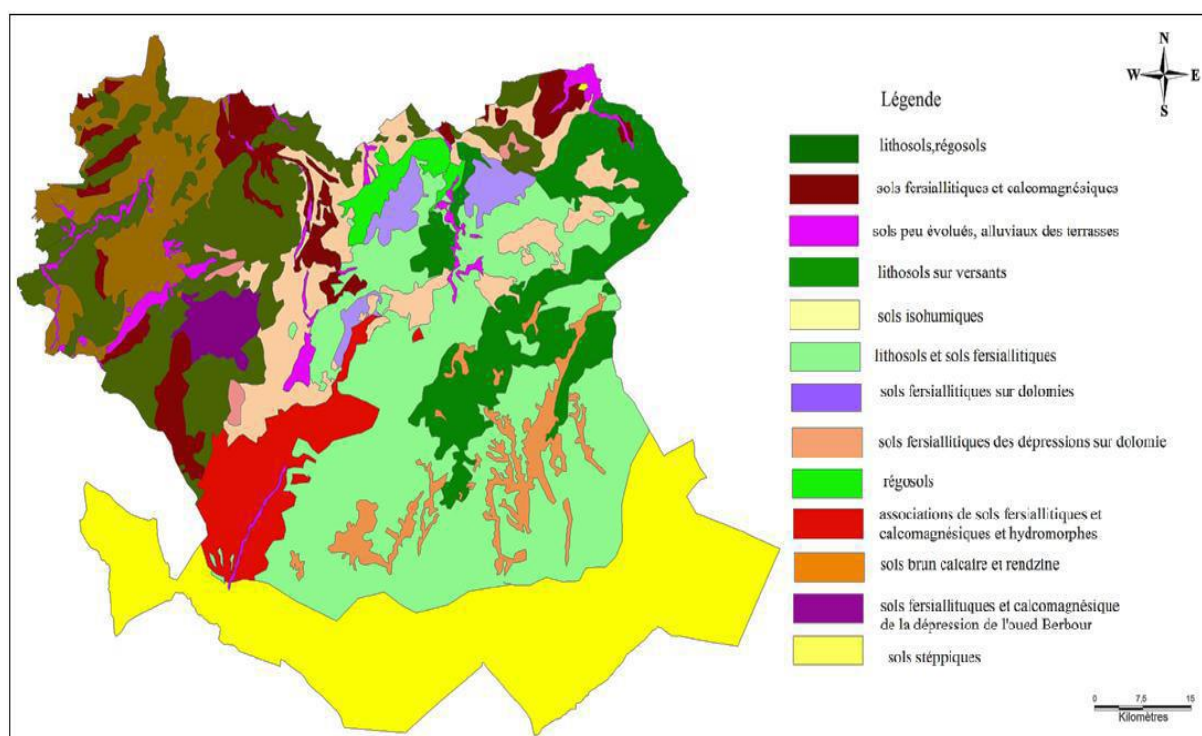


Figure 4. Carte des sols de la wilaya de Saida (Source : S.A.T.E.C., 1976).

2.7. Les caractéristiques physiques locales

A l'exception du Sud de la wilaya où le paysage s'ouvre sur les hautes plaines steppiques, l'on se trouve partout ailleurs dans un domaine relativement montagneux constitué par les Djebels des Monts de Daia et de Saida. Il s'agit donc d'un contraste bien net entre le Sud et le Nord de la wilaya. La limite entre les deux milieux (nord, montagneux et sud steppique) se situe grosso modo un peu au sud de la latitude de Moulay Larbi ; toutefois une limite plus nette se distingue et correspond à la ligne de partage des eaux de petits djebels au nord de Moulay Larbi et du djebel Sidi Youssef. De part et d'autre de cette ligne l'écoulement des eaux se fait au nord dans le milieu montagneux et le régime hydrographique est de type endoréique; et vers le sud dans le milieu steppique où le régime hydrographique est ici, de type exoréique. Ce territoire n'a donc pas de caractère homogène : il se caractérise par une alternance de milieux très contrastés dont les grands ensembles sont (Figure 4).

Le milieu montagneux : il est constitué par une série de djebels généralement orientés vers sud-ouest nord-est, peu accentués et aux dénivellations peu importantes conférant à l'ensemble orographique une allure tabulaire ondulée. Ces plateaux ondulés sont incisés par une série d'oueds pérennes courants dans des fonds de vallées plus au moins aérées, il s'agit d'ouest en est :

- Des vallées de l'oued Mellala qui rejoint celle de l'oued Sefioun, de l'oued Berbour, oued Tala Amrane qui à la confluence de l'oued Sefione devient la vallée de l'oued Hounet, de l'oued Saida qui est la plus importante, de l'oued El Khachba et de l'oued Tifrit qui devient la vallée de Sidi Mimoune plus au nord, de l'oued El Abd qui débouche sur la plaine de Beranis au nord -est.
 - Les altitudes sont élevées (1000 m en moyenne) et déclinent progressivement des sommets à la base ; les dénivellements sont en moyenne de l'ordre de 300 m et les points les plus élevés au culminants se trouvent sur le djebel Sidi Youcef (Koudiat Si Elkbir-1339m)
 - Au sud de ces plateaux ondulés se trouve une zone de contact avec les hautes plaines steppiques. C'est la plaine des Maalifs (ou plaine de Hassasna- Moulay Larbi) se situant à des altitudes très peu variables d'une moyenne de 1100 m.
- **Les plateaux** : ils se localisent dans la partie sud de la wilaya et concernent la région de la commune de Sidi Ahmed et Maarmora. Le premier plateau se localise à l'Est de Aïn-El-Hadjar et se distingue par une altitude qui varie entre 900 et 1300 m. Le deuxième au Sud de la wilaya présente des affleurements rocheux, il est occupé par une garrigue ou une erme claire à Doum ou Palmier nain (*Chamaerops humilis*) et de broussailles basses clairsemé à genévrier oxycèdre, indicateur de conditions de froid et de forte amplitude thermique (*Juniperus oxycedrus* ». Un troisième plateau (la plaine des Maalifs) constitué par un assez vaste replat au sud ouest de la daïra de Aïn El Hadjar et Bourached. Ce plateau est caractérisé par des sols profonds riches à vocation céréalière encore sous utilisée malgré les potentialités édaphiques. Les plateaux ondulés sont incisés par une série d'Oueds. Ils constituent un véritable espace de transition entre la montagne et la steppe. A 1000 mètres d'altitude, ce vaste plateau était à l'origine un lieu de passage des pasteurs-nomades faisant la transhumance entre le sud et le nord. Il est aujourd'hui une véritable aire de sédentarisation de nombreuses populations nomades et montagnardes qui cultivent désormais céréales et fourrages et qui élèvent d'importants troupeaux de moutons. (SAHLI, 1997)
- **Le milieu steppique** : est caractérisé par des altitudes élevées (1100 m en moyenne), les plus hautes atteignent 1200 m et les plus basse oscillent entre 1000 et 1100 m, ce qui signifie que les dénivellations sont ici encore, peu importante, soit moins de 200 m. Cet espace est caractérisé par l'aridité du climat, la faiblesse des précipitations, leur irrégularité et les effets néfastes du sirocco. Le substrat est à dominance calcaire relativement encroûté ne générant que de faibles horizons. Ces derniers sont mis à rude épreuve par l'érosion éolienne.

Les pentes : Cinq classes de pentes ont été retenues pour caractériser le relief et définir un découpage pouvant servir de base pour d'éventuels aménagements.

La classe de pente 0-5 % caractérise l'ensemble des fonds de vallées, les plaines et les plateaux. Cette classe témoigne la stabilité des terrains avec aucun risque d'érosion très faible. Elle couvre une superficie de 448 730 ha soit 67 % de la superficie totale de la wilaya. Elle est présente essentiellement dans les communes steppiques (Sidi Ahmed, Maamora et Ain Skhouna) et dans les zones céréalières telles que Moulay Larbi, Hassasna, Ouled Brahim, Tircine et Ain El Hadjar. A l'exception des zones steppiques, sur ces terrains c'est la céréaliculture qui domine.

La classe de pente 5-10 % caractérise les terrains de plateau ou de bas piedmonts de collines, elle occupe une superficie de 113 000 ha soit 17 % de la superficie totale. Elle caractérise principalement la topographie des communes de Youb, Sidi Boubkeur, Doui Thabet, Hounet, Ouled Khaled, Saida et Ain El Hadjar. Les risques d'érosion sur ces terrains restent faibles à très faibles. La aussi c'est la céréaliculture qui domine l'occupation du sol.

La classe de pentes 10-15 % caractérise le plus souvent les zones de piémonts qui sont le prolongement des massifs montagneux de la wilaya. Ce sont généralement des terrains de parcours et des terrains forestiers (maquis clairs). Les risques d'érosion sont présents avec apparition des signes dus au ruissellement diffus. Ces terrains qui ont une déclivité de 10 à 15 % s'étendent sur presque 65 000 ha soit 17 % de la superficie totale de la wilaya et occupent surtout les communes de Saida, Doui Thabet, Hounet, Sidi Amar, Ouled Khaled et Ain-El-Hadjar.

La classe de pentes 15-25 % caractérise les hauts piémonts des massifs montagneux de la wilaya. La classe plus de 25% est également présente. Ces deux classes de pentes occupent respectivement 23 510 ha et 16 060 (4% et 2%) soit au total 39 570 ha ce qui représentent 6% de la superficie totale de la wilaya. Ces terrains sont généralement boisés et s'étendent sur l'ensemble des massifs de la wilaya.

D'une manière générale, la topographie générale de la wilaya est relativement plane car les classes de pentes inférieures à 10 % occupent environ 84 % de la superficie totale de la wilaya (fig.5). Le reste soit 16 % du territoire de la wilaya 104 520 ha ont une déclivité bien marquée avec néanmoins une classe intermédiaire 10-25 % relativement importante.

2.8. Occupations des sols

L'occupation du sol est le résultat du relief, du type de sol et du climat. La connaissance de l'évolution de l'occupation du sol constitue une donnée fondamentale pour cerner les tendances actuelles et de les comparer avec les potentialités et les atouts de la Wilaya. L'analyse de l'occupation du sol (figure 6) révèle qu'elle est fortement corrélée aux conditions du milieu naturel. Selon Labani (2005), cette occupation s'individualise en trois types d'espaces :

a. L'espace agricole

Les pouvoirs publics ont mis à la disposition de l'agriculture et de l'élevage des schémas de développement, des investissements, des équipements et de la formation. Il était urgent en effet de situer tous les enjeux de développement agricole dans le cadre des défis de la sécurité alimentaire et de structurer le secteur en vue de rechercher des créneaux porteurs pour l'autosuffisance et éventuellement l'exportation. D'après les données énoncées par la D.P.A.T (2012), la superficie agricole totale de la wilaya est estimée à 477 471 ha. La superficie agricole utile (S.A.U) s'étend sur 308 206 ha soit 45,56 % de la superficie totale de la wilaya dont la S.A.U. irriguée s'élève à 9 662 ha, soit 3,13 % de la (S.A.U.).

Les principales cultures pratiquées sont :

Les céréales sur une superficie de 81 920 ha ;

Les légumes secs sur une superficie de 104 ha ;

Les fourrages sur une superficie de 2 735 ha ;

Les cultures maraîchères sur une superficie de 4 004 ha ;

L'arboriculture fruitière sur une superficie de 7 170 ha.

Cet espace se localise essentiellement sur les plaines qui représentent un relief de pentes dominantes faibles de 3 à 5 % recevant une pluviométrie de 300 à 350 mm/an, où est pratiquée une agriculture extensive avec une dominance de la céréaliculture à sec, soit 12,11% de la superficie de la wilaya.

b. L'espace forestier

Cet espace s'étend sur 156 401 ha soit 23,12% de la superficie de la wilaya (D.P.A.T., 2012). Il correspond aux zones montagneuses et collinaires (celles des monts de Dhaya et de Saida) qui présentent un relief assez accidenté où la pente dominante est supérieure à 12,5% et qui peut être subdivisée en deux secteurs :

- Le secteur forestier Ouest qui englobe les massifs forestiers de dhaya et djebel Kodjel

Bouatrous, EL Hadja appartenant au grand ensemble structural des monts de Saida.

- Le secteur forestier qui s'étend du Sud-Est (massifs forestiers de Sidi Youcef) à l'Est par une série de massifs (Djebel Ben Allouche, M'Zaita, Derkmous). Ce secteur englobe aussi une série de massifs du Nord-Est de la wilaya tels que Mergueb Es-Sebaa, Sifat Ed-Dorbane, Djebel Bouchellil, Djebel El Hama, Djebel El Assa et Djebel Khanifer. Les principales essences forestières et leurs superficies évaluées par la D.P.A.T. (2012) sont comme-suit :

- ✓ Pin d'Alep : 65 053 ha
- ✓ Chêne vert : 42 211 ha
- ✓ Thuya : 18 835 ha
- ✓ Genévrier et Chêne kermès : 7 820 ha
- ✓ Autres espèces : 24 164 ha

Les différents groupements végétaux de l'espace forestier sont comme suit (Terras, 2003) :

- groupement à chêne vert, groupement à pin d'Alep et chêne kermès, groupement Oleo-lentisque, groupement de *Tetraclinis articulata*
- **Importance des grandes graminées** : Les graminées *Stipa tenacissima* et *Ampelodesma mauritanica* sont présentes dans tous les groupements et constituent une strate intéressante dans le recouvrement du sol. Elles jouent un rôle déterminant dans la configuration des paysages forestiers dégradés grâce à leur capacité de résistance aux différentes pressions qui s'exercent sur l'espace forestier. Quand les groupements de pin d'Alep, de chêne vert et de thuya sont dégradés (coupes, incendies, parcours, défrichement) l'alfa et le Diss colonisent rapidement l'espace et jouent le rôle d'espèces pionnières préparant l'installation des espèces ligneuses basses dans un premier temps.

c. Espace des parcours

Les terres des parcours s'étendent sur une superficie de 163 063 ha soit 24,10 % de la superficie totale de la wilaya (D.P.A.T., 2012). Ceci représente une part importante dans l'occupation du sol de la wilaya. On distingue les parcours du tell et ceux de la steppe qui englobent respectivement 11,98 % et 19,44 % de la superficie totale de la wilaya (B.N.E.D.E.R., 1992). Les parcours telliens ont été individualisés des parcours steppiques compte tenu de leur appartenance au tell et à la configuration topographique du relief (zones de montagnes et de piémonts). Les parcours steppiques se situent au Sud de la wilaya

(communes de Moulay Larbi, Sidi Ahmed, Maâmora et Ain Skhoua). Dans la wilaya de Saida, on distingue 4 types de parcours où il est précisé le niveau de dégradation

Les parcours à alfa : Ils couvrent 39 536 ha soit presque 6 % de la superficie totale de la wilaya (B.N.E.D.E.R., 1992). Ils se localisent essentiellement dans la zone contact tell-steppe (figure 6). Ces parcours présentent trois niveaux de dégradation. Le premier niveau, faiblement dégradé avec un taux de recouvrement situé entre 60 et 70 %, occupe 8 049 ha soit 1,2 % de la superficie totale et est localisé essentiellement dans la commune de Maâmora. Le deuxième niveau, moyennement dégradé avec un taux de recouvrement variant entre 30 et 40 %, s'étend sur superficie estimée à 30 000 ha soit 4,5 % de la superficie totale. Ce second niveau est réparti sur toute la zone steppique de la wilaya de Saida. Le troisième niveau, fortement dégradé avec un taux de recouvrement de 10 % à 20 %, n'intéresse qu'une très faible étendue et est présent seulement dans la commune de Sidi Ahmed avec 1,19% du total du territoire de la commune (Labani, 2005).

Les parcours à armoise blanche : Les parcours à armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) couvrent 129 513 ha soit 19,44 % de la superficie totale de la wilaya (B.N.E.D.E.R., 1992). Ils sont localisés au Sud, notamment dans la commune de Maâmora (Dayet El Mekmen) avec une superficie de 54 021 ha soit 43,16 % de sa surface totale. Ces parcours se rencontrent sur les sols à texture argilolimoneuse couvrant les zones d'épandage, les dépressions et les glacis encroûtés avec une pellicule de glaçage en surface. Ils sont généralement associés au *Lygeum spartum*, *Helianthemum sp.*, *Astragalus sp.* et en cas de surpâturage aux *Atractylis sp.* et *Noaea micronata* (Abdesslem, 2012).

Les parcours à salsolacées : Ils s'étendent, dans le Chott Ech Chergui, sur une superficie de 4795 ha, soit à peine 0,72% de la superficie totale de la wilaya. En réalité ces terrains constituent de très pauvres parcours car ils sont composés essentiellement de plantes halophiles telles que *Salicornia sp.*, *Salsola sp.* et *Suaeda sp.* On les rencontre notamment dans les communes d'Ain Skhoua et Maâmora (Labani, 2005 ; Abdesslem, 2012).

Les parcours à Atriplex : Ils correspondent aux plantations artificielles à base d'Atriplex en particulier *Atriplex halimus* et *Atriplex canescens* réalisées par les différentes structures étatiques (H.C.D.S, G.C.A, Conservation des forêts) dans le cadre des programmes mis en oeuvre par le ministère de l'agriculture (Abdesslam, 2012). Les premières plantations d'Atriplex datent des années 1980, mais les grandes superficies ont été réalisées entre 1994 avec le lancement du programme d'aménagement pastorale « Les grands travaux » et 2010

dans le cadre du programme « P.P.D.R.I. », entre ces deux programmes plusieurs d'autres ont succédé (Relance économique 2001, F.L.D.D.P.S. 2002, P.N.D.A.R. 2003).

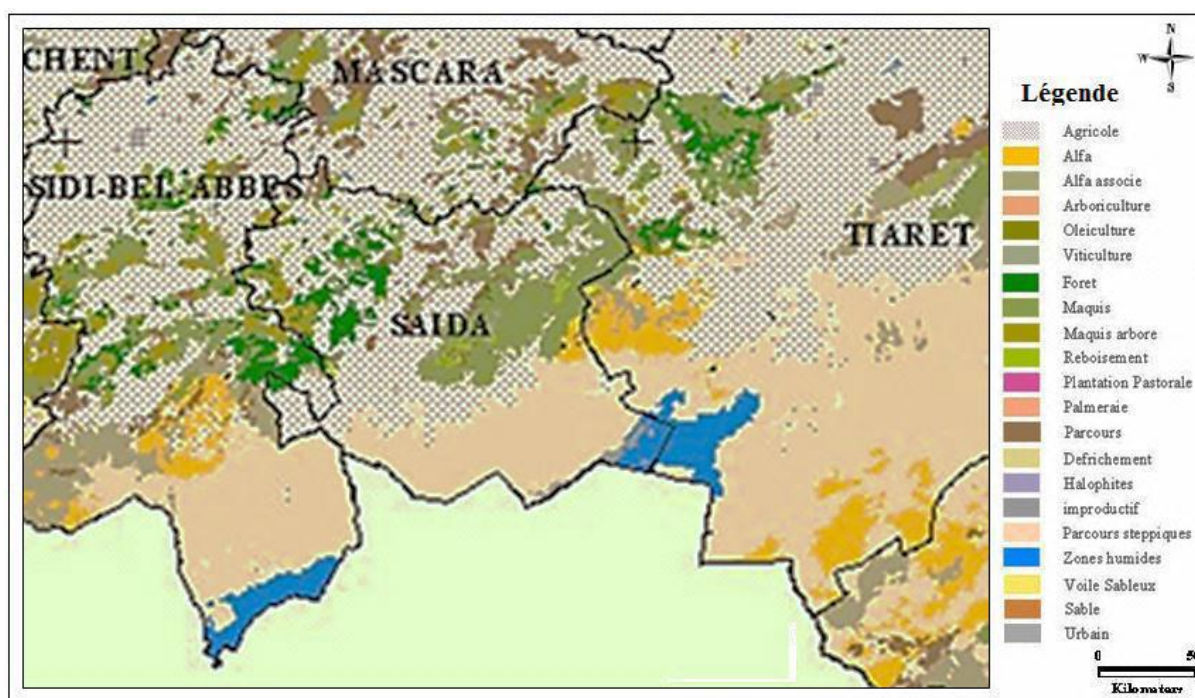


Figure 5. Extrait de la carte d'occupation du sol - Nord d'Algérie- (Source : B.N.E.D.E.R., 2009).

2.9. L'élevage

Cette activité connaît une extension remarquable et se justifie par la disponibilité croissante d'espaces improductifs et pastoraux ouverts aux parcours. Deux types d'élevage sont pratiqués dans la wilaya de Saida, le premier, assez familial et traditionnel, est pratiqué par des agriculteurs pour assurer un revenu à leur famille avec des effectifs inférieurs à 20 ovins et caprins tandis que le second est du type éleveur professionnel avec des troupeaux dépassant les centaines de têtes avec prépondérance d'ovins. Chaque équivalent Ovin, à travers toute la wilaya de Saida, dispose de :

0.4 hectare de S.A.U par tête, 0.25 hectare de parcours par tête.

2.10. Démographie

La wilaya de Saida comptait un volume de population de l'ordre de 111 543 habitants en 1966, 171 811 habitants en 1977, 235 240 habitants en 1987, 279 526 habitants en 1998 pour atteindre 324 949 en 2008. La ville de Saida est la plus peuplée ; elle rassemble à elle seule 49,14 % des habitants des chefs-lieux. L'espace urbain joue un rôle déterminant dans

l'occupation des sols puisque toutes les extensions se font au détriment des terres agricoles. L'extension urbaine constitue un facteur permanent dans la dynamique des espaces.

Le nomadisme et notamment la transhumance (Achaba-Azzaba) constitue la principale activité pastorale qui découle des facteurs historiques économiques et sociaux. C'est une forme d'adaptation à un milieu contraignant où l'offre fourragère est marquée par une discontinuité dans le temps et dans l'espace. Ces déplacements, s'effectuant en été vers les zones telliennes (Achaba) et en hiver vers les parcours présahariens (Azzaba), allègent la charge sur les parcours steppiques leur permettant ainsi de se régénérer. (Nedejmi, 2006)

Une forte croissance démographique est enregistrée durant la dernière moitié du siècle. La population de la steppe qui était de 900 000 habitants en 1954, est estimée à plus de sept millions d'habitants en 1999 (HCDS, 2005). La transhumance ou déplacement de grande amplitude qui permettait dans le passé une utilisation rationnelle des ressources naturelles, ne concerne maintenant que 5% de la population steppique (Nedjimi, 2008).

Le reste de la population est devenu semi-sédentaire. Les pasteurs ont modifié leur système de production en associant culture céréalière, élevage et sédentarisation. La principale conséquence de cette transformation du mode de gestion des parcours est la surexploitation des ressources biologiques et la dégradation des terres.

L'équilibre social et biologique se trouve fortement perturbé par l'intensification des besoins engendrés par la croissance démographique et la mutation de la population steppique, dont une grande partie a rejoint d'autres secteurs d'activités. (Khaldoun , 2000). D'après Aidoud (1989), l'action anthropique a fait subir à la physionomie de la steppe depuis quelques années d'importants changements qui semblent indiquer une tendance régressive de la végétation. Ce phénomène accentue la fragilité de l'écosystème en raison de l'exploitation du milieu, selon des modes et moyens inappropriés et inadaptés, cette action trouve sa traduction dans :

- Le défrichement et la mise en culture des terrains de parcours.
- Le surpâturage.
- L'éradication des ressources ligneuses.

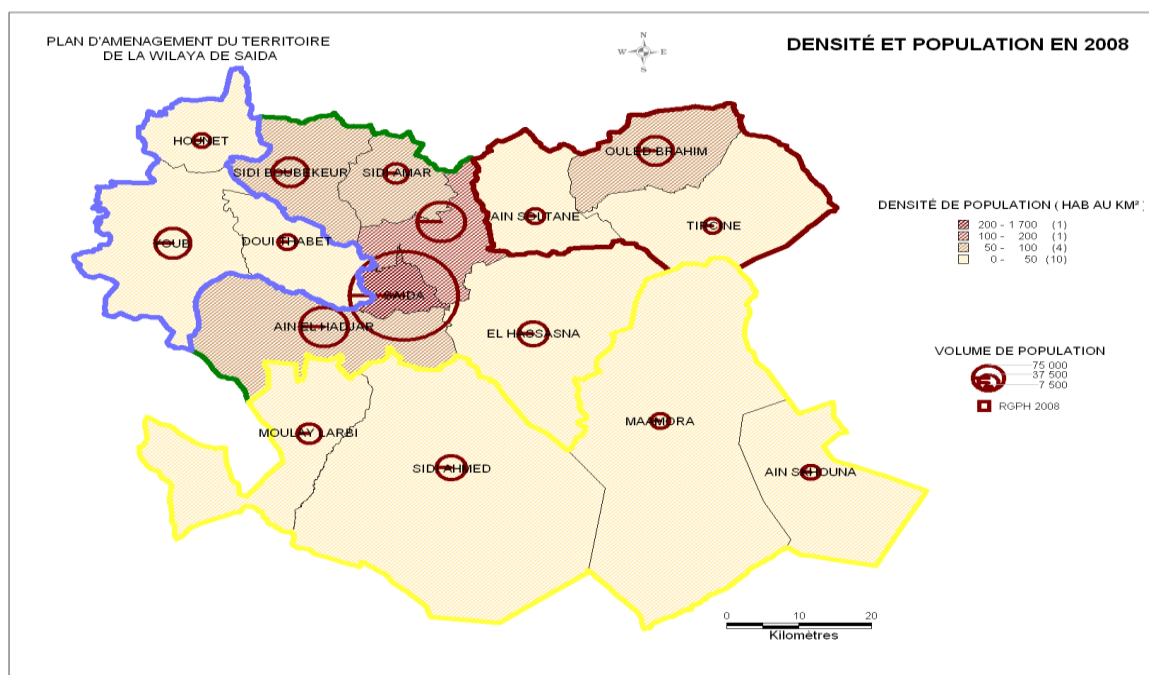


Figure 6. La densité et la population de la wilaya de Saida (source : D.P.A.T 2008)

2.11. Aspects climatiques et bioclimatiques de la zone.

a. Aspect climatique

La position méridionale de l'Oranie par rapport à la zone climatique méditerranéenne, la sécheresse estivale prolongée et l'irrégularité des pluies sont autant de facteurs écologiques limitant menaçant perpétuellement les régions naturelles. Le milieu climatique n'est favorable pour le développement des formations végétales que sur une portion assez restreinte de cette région. L'Oranie est caractérisée par une aridité singulière car les perturbations climatiques abordent le Maghreb par l'ouest lorsque l'anticyclone des Açores occupe une position méridionale. Ces perturbations ne donnent le plus souvent que des précipitations médiocres pour deux raisons majeures :

Ce sont des perturbations lointaines qui ont traversées l'océan Atlantique où les contrastes thermiques sont atténués par le fait du réchauffement de l'air polaire, elles sont bloquées pendant un certain temps par la dorsale du Moyen Atlas et du Rif marocain, et sont le plus souvent occultes après ces barrières naturelles. Le bâti structural de l'Algérie est orienté nord-ouest, nord-est; le Tell oranais est à la même latitude que les hautes plaines constantinoises et pourtant la tranche pluviométrique recueillie est totalement différente. Cette

aridité est expliquée par le fait que la dorsale Moyen Atlas-Rif bloque les mouvements ascendants accentués qui redécouvrent une stabilité sur l'Algérie occidentale.

Le climat est relativement sec sur l'ensemble de la région, la pluviométrie est inférieure à 400 mm à l'exception des hauteurs (monts de Tlemcen, monts de Dhaya et les monts de Saida) où elle atteint 600 mm. Cette tranche pluviométrique, insuffisante, est le plus souvent mal répartie. Le régime pluviométrique le plus fréquent est du type HAPE avec un maximum hivernal dans la partie septentrionale de la région et du type AHPE dans sa partie méridionale. La période de sécheresse, perturbant le développement de la végétation, est assez longue et atteint le plus souvent sept mois surtout au sud des chaînes de l'Atlas tellien et varie de cinq à sept mois plus au nord, notamment sur les plaines intérieures et chaînes telliennes. La hauteur des pluies diminue d'est en ouest, elle baisse également du nord vers le sud et connaît une légère augmentation en exposition nord.

A juste titre on avance que les végétaux et les animaux ne vivent pas de moyennes pluviométriques mais de réalités quotidiennes. Les hauteurs mensuelles peuvent, tout comme les annuelles s'écarter de leur moyenne et la répartition sur les douze mois de l'année est différente tant d'une année à l'autre que de la moyenne générale.

b. Aspects bioclimatiques

Le climat de l'ouest algérien où sont localisées les stations d'études est de type méditerranéen littoral, il appartient aux étages bioclimatiques arides et semi-arides avec des variantes froides à chaude au sens d'Emberger. Les précipitations annuelles varient de 100 à 400 mm. Les minimas thermiques oscillent entre -7°C et -2°C alors que les maximas thermiques se situent entre 28°C et 35°C .

La végétation est à l'image du climat où la saison estivale est de 6 mois environ, sèche et chaude, impose une physionomie à la végétation. La saison humide est froide et s'étend d'octobre à avril, elle constitue également un facteur agissant sur la répartition de la végétation. Les précipitations et les températures influent directement sur la végétation (Bary-Lenger *et al.* 1979). C'est pour cela que le cortège floristique doit sa diversité à l'effet des précipitations conjugué à celui de la chaleur.

3. Relation sol-Végétation

3.1. Relation entre les caractéristiques physicochimiques du sol et la plante.

3.1.1. Les effets du sol sur la distribution des plantes

Effet de la texture: la connaissance du type de texture et de la structure d'un sol est essentielle, car elle renseigne directement sur sa porosité (caractère physique qui le rend plus ou moins favorable au développement naturel des (végétaux), et sa capacité de rétention de l'eau, il existe des espèces végétale indicatrices du type de sol :

- Des espèces indicatrices de sol sableux: *Bromus hordeceus*, *Sinapis arvensis*, *Geranium lucidum*.
- Des espèces indicatrices de sol argileux: *Calendula arvensis*, *Trifolium migrescens*, *Torilis nodosa*.
- Des espèces indicatrices de sol limoneux: *Juncus sp*, *Senecio gallicus*
- D'autre espèces qui s'adaptent sur un sol quelconque: *Sueda fruticosa*, *Inula crithmoides*.

Effet du calcaire: les espèces qui supportent des quantités de calcaires sont des plantes calcicole nous pouvons citer *Sueda fruticosa*, *Inula crithmoides*, *Tamarix sp*. D'autres par contre fuient le calcaire, ce sont des plantes calcifuges comme *Calendula arvensis*, *Trifolium migrescens* *Torilis nodosa*.

Effet de la salinité: dans de nombreux points de l'Afrique du nord la végétation est sous la dépendance presque exclusive de la richesse du sol en sels et plus particulièrement en chlorures. Plus ou moins humide en hiver, ces endroits sont très secs en été, constituant souvent des dépressions fermées. Grace à ce gradient de salinité, on a pu définir une zonation très nette allant de la présence de pionniers (Salicornes), à celle des plantes de terrains normaux (Santa et al, 1958). Comme les sols salés sont caractérisés par une quantité importante de sels soluble et qui peut atteindre 47,5 Meq/100g, ils n'accueillent que très peu d'espèces bien adaptées. Ces terrains salés sont donc colonisée par une flore spécifique constituée d'halophytes, en particulier les chénopodiacées.

- Les halophytes facultatives: peuvent se développer en présence de sel sans qu'il soit indispensable, le cas de *Sueda fruticosa* (Dajoz, 1975).

- Les halophytes obligatoires: exigent des concentrations élevées en chlorures de sodium pour terminer leur cycle de développement, le cas de *Salicornia fruticosa*.

3.2. La biochimie du sol et la plante

3.2.1. Phénomène d'allélopathie

Les plantes présentes dans une parcelle cultivée interfèrent entre elles de différentes manières. Traditionnellement, cette interférence est attribuée principalement à des effets de compétition pour les ressources de l'environnement telles que l'eau, la lumière ou les substances nutritives. Depuis quelques années, un autre volet de cette interférence est postulé par certains chercheurs (Delabays, 2005).

Dans le même ordre d'idées, Rizvi et Rizvi (1991) et Delabays (2004) soulignèrent que les phénomènes de concurrence entre végétaux se composent d'une part de la compétition pour les ressources du milieu et d'autre part de l'allélopathie (ou télétoxicité).

Elle a été souvent considérée comme une part de la compétition ou complètement ignorée. Actuellement, ces deux mécanismes sont bien différenciés et sont généralement regroupés sous le terme d'interférences négatives. Les effets de ces interactions dépendent des facteurs physiques environnementaux et de la combinaison entre la compétition pour les ressources, les composés allélopathiques émis dans l'environnement et les facteurs de facilitation (Delabays, 2004).

Aujourd'hui, il s'est avéré que de nombreuses espèces végétales synthétisent des molécules capables d'inhiber la germination et le développement des plantes croissant dans leur voisinage. Ces mécanismes peuvent être interdépendants, il est donc difficile d'évaluer les effets de chaque mécanisme expérimentalement (Callaway et al. 1991 in Delabays, 2004).

Néanmoins, les résultats de plusieurs travaux récents plaident pour leur réalité, tant dans les milieux naturels que dans les écosystèmes agricoles (Kohli et al., 2001 in Delabays et Mermillod, 2002).

3.2.2. Définition de l'allélopathie

Molish a été le premier à définir le mécanisme de l'allélopathie en 1937 en regroupant les interactions biochimiques entre tout type de plante et incluant les micro-organismes (Rice, 1984). Actuellement, Beaucoup d'auteurs Caussanel (1975), Desaymard (1977), Drapier (1983), De Raissac (2002), Brunel (2002), Delabays et Mermillod (2002), Pellissier (2002), Lacroix (2003), Uk-Chon et al., (2004), Kim (2004), Leconte (2004), Lelong et al., (2004), Cordonnier (2004), Delabays (2005), Hulot et Lacroix (2005), s'accordent pour définir

l'allélopathie comme l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain.

3.2.3. Compréhension du phénomène de l'allélopathie

Selon Appleton et *al.* (2000), l'allélopathie implique la sécrétion végétale de matériaux biochimiques dans l'environnement pour empêcher la germination ou la croissance de la végétation vivant dans l'environnement de l'espèce.

Elle augmente la survie et la reproduction d'arbre. Quelques plantes qui produisent des allélochimiques peuvent être employées dans la production comme récoltes de couverture pour commander des mauvaises herbes. Les chercheurs essayent actuellement de multiplier les récoltes et les plantes de paysage qui sont allélopathiques aux mauvaises herbes.

a. Les plantes cibles

Les plantes subissant les effets d'une autre plante sont appelées plantes cibles ou receveuses. Les plantes cibles peuvent réagir différemment face aux actions de leurs plantes voisines, cela peut alors avoir de l'effet sur la composition des communautés et la coexistence des espèces. Jusqu'à présent, aucune étude n'a pris en compte tous les facteurs compétitifs (Delabays, 2005), cet auteur insiste sur la nécessité de la connaissance de l'allélopathie car elle peut être impliquée dans la hiérarchie d'aptitude compétitive des espèces et influencer leur stratégie.

b. Les composés allélopathiques (les allélochimiques)

Les allélochimiques sont les métabolites secondaires des plantes ou les déchets du métabolisme tels que les acides organiques hydrosolubles et insolubles simples, les acides gras et phénoliques, les alcools de chaîne droite, les aldéhydes et cétones aliphatiques, les lactones insaturées simples, les naphthoquinones acétyléniques de composés, les anthraquinones, les quinones complexes; les phénols, les flavonoïdes et tannins simples, les terpénoïde de beaucoup de catégories; les alcaloïdes et les saponines sont des groupes de métabolites secondaires qui ont été produits dans des interactions allélochimiques (Elrefai et Moustafa, 2004). Purvis (1990) et Watson (1992) cités par Kim (2004) ont rapporté que les produits chimiques normaux exerçant un effet allélopathique peuvent être les composés secondaires simples ou complexes.

De leur côté, Ferguson et *al.* (2003) et Fanny (2005) ont rappelé que ces composés allélopathiques sont des métabolites secondaires appartenant à différentes classes de

composés chimiques, issus souvent de la voie du Shikimate. Ces substances varient qualitativement et quantitativement dans les différentes parties de la plante (fleurs, feuilles, épines, racines, tiges) et selon les saisons. Ainsi Bourgoïn (1999) a indiqué que chez les graminées, les composants responsables de l'allélopathie sont présents partout dans la plante, mais leur concentration est plus élevée dans les feuilles et les semences.

Elles peuvent persister dans le sol et donc affecter plusieurs successions de végétation et les plantes voisines. La majorité de ces composés ont un effet inhibiteur sur la germination des graines et sur la croissance des germes; leurs effets peuvent être synergiques ou additifs.

Les composés allélopathiques sont le plus souvent des composés phénoliques. Pour être considérés comme composés allélopathiques, les acides phénoliques doivent notamment être sous forme active (Blum, 2004).

c. Voies d'émission des composés allélopathiques

D'après Caussanel (1975), De Raissac (2002) et Bourgoïn (1999), les substances allélopathiques peuvent être émises par quatre voies :

- **Volatilisation** : Notamment pour les plantes des régions arides et de la garrigue méditerranéenne (*Eucalyptus*, *Salvia*).
- **Lessivage des parties aériennes** : C'est le cas du noyer. Le lessivage des feuilles d'*Abutilon theophrasti* Medik. Inhibe le développement du soja.
- **Décomposition des organes morts** : Les résidus de récolte ou les paillis peuvent poser des problèmes pour la culture suivantes ;
- **Exsudats racinaires** : Il peut y avoir émission par les racines vivantes ou libération par les parties mortes.

Dans les situations naturelles, il est difficile de différencier l'importance relative de ces deux aspects. Ces phénomènes d'allélopathie ont souvent été décrits chez des espèces de la famille des *Asteraceae* (Rice, 1984).

Quel que soit le mode d'émission par la plante productrice, les substances vont évoluer et migrer dans le milieu : volatilisation, ruissellement, lessivage et dégradation (Lance et al., 1996).

3.2.4. Modes d'action des composés allélopathiques

Rice (1984) a indiqué que les effets des substances allélopathiques sur la germination ou sur la croissance des plantes-cibles ne sont que les signes secondaires de modifications primaires.

En fait, peu d'effets spécifiques sont attribuables à ces produits, qui ont aussi bien des actions inhibitrices que des actions stimulantes. Il est important de remarquer que les doses efficaces sont la plupart du temps très élevées ($\mu\text{M/l}$) et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose.

Selon Ferguson et al. (2003), les substances allélopathiques agissent sur :

- **la division cellulaire:** la coumarine inhibe la mitose dans les racines d'oignon.
- **la croissance et synthèse:** les composés phénoliques ont une action sur la régulation des hormones de croissance.
- **la photosynthèse et respiration:** la scopolétine réduit la photosynthèse chez le tournesol et le tabac par fermeture des stomates.
- **la perméabilité membranaire:** les composés phénoliques accroissent le flux de potassium hors des tissus racinaires.
- **l'absorption minérale:** l'acide férulique inhibe l'absorption de potassium par les plantes (confusion avec les effets de la compétition).
- **le cycle de l'azote:** fixation de l'azote et nitrification.

Ainsi, Rice (1984) attire l'attention sur qu'un même composé peut avoir de multiples sites d'action : par exemple, l'acide férulique agit aussi bien sur la respiration mitochondriale que sur la synthèse de la chlorophylle et l'activité des hormones de croissance.

3.2.5. Facteurs influant la production des composés allélopathiques

Les stress physiologiques et environnementaux peuvent moduler l'allélopathie (Ferguson et al. 2003).

- **Conditions du milieu:** lumière (qualité, intensité et photopériode), température, stress hydrique.
- **Éléments minéraux:** une déficience en azote ou en phosphate augmente la production de scopolétine chez le tabac.
- **Espèces productrices:** variétés, organes (racines, feuilles, fleurs, fruits).
- **Facteurs biotiques:** attaques parasitaires .

En règle générale, les stress ont tendance à augmenter la production de composés allélopathiques (réponse à l'agressivité du milieu), mais on observe de nombreuses exceptions (Rice, 1984).

3.2.6. Facteurs influant l'activité des composés allélopathiques

D'après Thomson (1985), les facteurs influant l'activité des composés allélochimiques

sont :

- **Nature du sol** : les composés allélopathiques ont une activité réduite lorsqu'ils sont fixés par les argiles ou la matière organique, alors qu'ils sont totalement disponibles dans un sol très sableux.

- **Eau**: un apport d'eau dilue les substances et diminue leur activité (rôle du drainage).

Soni et Vasistha in Bourgoïn (1999) ont indiqué que les effets sont moindres lorsque les éléments toxiques sont lessivés, par exemple dans des régions connaissant des pluies abondantes. On peut en déduire que les effets allélopathiques nuisent davantage à la production herbacée dans les régions semi-arides que dans d'autres régions :

- **Etat de la plante réceptrice**: stress.

- **Substance actives** : durée de vie des substances (décomposition, migration) – synergie.

3.2.7. L'allélopathie et les différents processus écologiques

Des interactions d'allélopathie sont largement connues. Différents groupes de plantes telles que des algues, lichens, récoltes, aussi bien que les mauvaises herbes annuelles et pérennes (Rice, 1984 et Hoque et *al.*, 2003).

Selon Drapier (1983), de nombreux auteurs ont montrés la participation de l'allélopathie dans divers processus d'écologie forestière :

- Régénération
- Succession et distribution de la végétation
- Alternance d'essence
- Evolution des sols : microflore, nitrification etc...

3.2.8. Les manifestations de l'allélopathie

L'allélopathie est assurément un phénomène complexe: entre la molécule synthétisée dans une plante et l'effet allélopathique proprement dit en conditions naturelles, de multiples facteurs peuvent intervenir, tels que le niveau de production des composés phytotoxiques dans les plantes, leur relâchement dans le milieu, leur persistance ou leur transformation éventuelle (Delabays, 2005).

Une fois les allélochimiques sont relâchés dans l'environnement, ils provoquent l'inhibition qui peut résulter d'une action directe sur la plante cible et son métabolisme (division cellulaire, synthèse des protéines, perméabilité membranaire,...) ou d'un effet indirect, par exemple, dans le cas des légumineuses, sur les nodosités responsables de la fixation biologique de l'azote (Elrefai et Moustafa, 2004).

Appleton et *al.*, (2000) soulignèrent que des processus physiologiques peuvent être

affectés tels que la respiration et le prélèvement de l'eau et des éléments nutritifs.

De son côté, Fanny (2005) à son tour, expliquait que les allélochimiques font partie des métabolites secondaires mais interviennent aussi dans les fonctions internes de la plante. Ils interfèrent avec plusieurs enzymes et dans les processus physiologiques majeurs des plantes cibles.

Il a déjà été observé que ces composés sont impliqués dans l'inhibition de la croissance des germes car ils provoquent un stress hydrique pour la jeune plantule. Les composés allélopathiques affectent les processus fondamentaux de la plante comme la photosynthèse, la balance hormonale, la synthèse des protéines, la production de chlorophylle, les relations plante-eau, la perméabilité membranaire, la division cellulaire, la germination et le prélèvement de nutriments (Ferguson et al., 2003).

Ainsi Drapier (1983) a confirmé que les manifestations de l'allélopathie observées sont diverses : réduction de la croissance des semis, inhibition totale ou retardée de la germination, étiolement des plantes..., mais les mécanismes directement responsables sont peu connus.

Selon le même auteur, plusieurs études ont montré que les processus de multiplication cellulaire, de respiration, de photosynthèse, les processus enzymatiques, les synthèses d'hormones végétales et de protéines peuvent être affectés. L'auxine ou acide indol acétique, la germination des pollens, des spores et des graines sont aussi inhibés par les allélochimiques (Elrefai et Moustafa, 2004).

3.2.9. Allélopathie et agriculture

En situation naturelle, il semble que l'allélopathie contribue à la répartition spatiale des espèces et à l'organisation des successions végétales; les phénomènes allélopathiques trouvent également de nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture : Les propriétés allélopathiques ont été mises en évidence pour plus de 90 espèces de mauvaises herbes, par exemple, *Agropyrum repens* (L.) P.Beauv. (chiendent), *Chenopodium album* L. (chénopode) (Delabays, 2005).

Bien que l'allélopathie soit connue et décrite depuis longtemps, son importance réelle dans les agro-écosystèmes fait encore l'objet de vives discussions scientifiques. Une meilleure connaissance de ce phénomène pourrait offrir des perspectives intéressantes dans le contexte du difficile problème de la maîtrise des mauvaises herbes, notamment en agriculture biologique (Delabays, 2005).

Cependant, malgré cette complexité, la réalité de l'allélopathie et son influence

significative sur le développement et l'évolution de la flore de parcelles cultivées ont maintenant été démontrées à plusieurs reprises, notamment dans des situations où les molécules impliquées ont pu être déterminées. Ce constat justifie l'intérêt grandissant que l'agronomie porte aujourd'hui à l'allélopathie, en particulier dans le cadre de la production intégrée (ou raisonnée), ainsi qu'en agriculture biologique. En effet, alors que la maîtrise des mauvaises herbes reste un facteur de succès déterminant pour nombre de productions végétales, les alternatives aux herbicides demeurent peu nombreuses, et elles sont souvent coûteuses (Delabays, 2005). Birkett *et al.* (2001) et Delabays et Mermillod (2002) indiquèrent qu'en agriculture, en particulier en production intégrée et en agriculture biologique, ces propriétés pourraient évidemment constituer des moyens intéressants pour la gestion des mauvaises herbes, par exemple en utilisant des plantes allélopathiques comme couverture végétale, en sous-semis ou comme cultures intercalaires «nettoyantes». Dans ce contexte, la prise en compte des phénomènes d'allélopathie dans les réflexions menées autour de la gestion de la flore spontanée des parcelles cultivées constitue certainement une démarche constructive.

3.3. Biologie du sol et la plante

3.3.1. Définition des champignons endophytes

La définition la plus couramment utilisée pour décrire les endophytes est celle de Petrini (1991), qui définit les endophytes comme étant tous les microorganismes vivant dans les organes végétaux interne à un certain moment de leurs vie et peuvent coloniser les tissus végétaux internes sans causer de dommage apparents chez l'hôte (Hyde et Soyong, 2008).

Les premières descriptions de ces microbes remontent à la fin du 19^{ème} et 20^{ème} siècle (Staniek *et al.*, 2008). En 1866, Anton De Bary, inventa le terme endophytes (Moricca et Ragazzi, 2008), qui est composé de deux mots grecs, «endon» signifiant au sein et «phyton» désignant plante (Staniek *et al.*, 2008), et qui désignait tout organisme survenant dans les tissus de plantes (Hyde et Soyong, 2008).

Les champignons sont les microorganismes les plus fréquemment isolés en tant qu'endophytes (Strobel *et al.*, 2004), ce sont des champignons qui peuvent croître de façon intra et/ou intercellulaires (Pimentel *et al.*, 2011) dans les tissus internes des plantes, sous la couche des cellules épidermiques (Moricca et Ragazzi, 2008), sans causer aucun symptôme apparent chez l'hôte (Vega *et al.*, 2008). Ils sont présents et ont été isolés de toutes les plantes déjà étudiées (Hyde et Soyong, 2008), et leurs façons de croître asymptomatiquement dans

les tissus de plantes a induit que leurs relations avec l'hôte était de l'ordre du mutualisme et de la symbiose mais leur biodiversité suggère qu'ils peuvent être également des saprophytes ou des pathogènes opportunistes (Strobel *et al.*, 2004).

On a longtemps pensé que ces champignons n'avaient aucune fonction, ni aucun intérêt; cependant, dans les dernières décennies, les recherches ont commencé à s'intéresser aux endophytes (Moricca et Ragazzi, 2008) qu'on considère maintenant comme des sources de beaucoup de composés d'intérêt tels les composés antimicrobiens, antioxydants, anticancéreux, insecticides...(Maheshwari, 2006).

3.3.2. Diversité des endophytes

La plupart des champignons endophytes appartiennent à l'embranchement des *Ascomycota* ; cependant certains appartiennent à d'autres taxons tels que les *Deuteromycota*, *Basidiomycota* , *Zygomycota* et les *Oomycota* (Saar *et al.*, 2001); ils représentent un groupe très diversifié (Zabalgogezcoa, 2008) avec une estimation de 1.5 millions d'espèces (Fernandes *et al.*, 2009) et une moyenne d'environ 50 espèces d'endophytes par espèce de plante, dont les multiples couches des tissus sont utilisé comme habitat, Ils ont été isolés à partir de toutes les plantes étudiées à ce jour, des plantes allant des grands arbres (Oses *et al.*, 2008), palmier (Frohlich *et al.*, 2000), les graminées marines (Alva *et al.*, 2002) et même à partir des lichens (Li *et al.*, 2007). Et aussi, à partir de plante poussant dans les forets aussi bien tropicales, tempérées que boréales (Stone *et al.*, 2004).

Des estimations récentes de 2007 ont démontrés que plus de 90% d'espèces de champignons endophytes ne sont pas décrites (Shipunov *et al.*, 2008), et seulement 80.000 à 100.000 espèces ont été décrites en 2008 (Huang *et al.*, 2008).

3.3.3. Mode de reproduction et de transmission

Les endophytes possèdent deux modes de reproduction, le premier se fait par la croissance végétative des hyphes qui est complètement interne (Selosse et Schardl, 2007); ainsi les hyphes du champignon sont transmis de la plante infectée vers la descendance via les graines (Saikkonen *et al.*, 2004). Ceci est communément appelé transmission verticale (Saikkonen *et al.*, 2004). Et c'est le principal mode de transmission des champignons endophytes (Saikkonen *et al.*, 2010).

Le second se fait via les spores (Clay, 1986) ; ce groupe de champignons se transmet horizontalement (Saikkonen *et al.*, 2004), c'est-à-dire le champignon peut être transmis soit par spores sexuées ou asexuées (Saikkonen *et al.*, 2004) pour infecter d'autres plantes (Arnold *et al.*, 2003; Gallery *et al.*, 2007).

3.3.4. Interaction endophyte-hôte

Les endophytes possèdent différents modes de vie, donnant différentes interactions qui sont variables d'un endophyte à un autre et d'un hôte à un autre (Zabalgogazcoa, 2008), elles dépendent des facteurs abiotiques, des interactions avec d'autres espèces, de la géographie et de la phylogénie (Saikkonen *et al.*, 1998), et varient de l'antagonisme au mutualisme (Zabalgogazcoa, 2008) la nature de l'interaction entre hôte et endophyte change aussi selon la façon de transmission de ce dernier, elle sera une interaction mutualiste si la transmission est verticale par croissance dans les graines et sera plus hostile si le champignon est transmis horizontalement par les spores (Saikkonen *et al.*, 1998), à cause de l'arrêt de production de semences de l'hôte provoqué par l'endophyte antagoniste (Schardl *et al.*, 2004).

Certains endophytes sont des pathogènes latents, mais ne constituent pas une grande fraction des endophytes. Comme par exemple *Phomopsis citri* et *Fusicoccum aesculi* qui ont été isolée de *Citrus spp.* ainsi que *Phomopsis viticola* isolé de *Vitis vinifera*; cependant ces endophytes pathogènes ont co-évolué avec leurs hôtes et ne sont donc pas très virulents, et ne causent aucun symptôme à leurs hôtes, mais si la plante est stressée ou bien la sénescence des feuilles commence, la sporulation de ces agents pathogènes commence (Hyde et Soyong, 2008).

D'autres endophytes ont été isolés à partir des tissus sains de plantes, ces même champignons sont retrouvé couramment sur des plantes sénescents. Ces endophytes sont considérés comme saprophytes latents, colonisant asymptomatiquement des espaces restreints tant que leurs hôtes se développent; dès que ces derniers sont infectés ou décèdent, ces saprophytes se développent et se reproduisent (Zabalgogazcoa, 2008). A l'autre extrémité des interactions il y a les endophytes mutualistes, qui procurent à l'hôte de nombreux avantages, tels la résistance aux stress biotiques provoqué par des herbivores ou des parasites, ou bien abiotiques comme la sécheresse, la salinité... (Saikkonen *et al.*, 1998).

En retour, l'hôte procure à l'endophyte une protection contre la dessiccation, lui procure des éléments nutritifs et lui permet aussi en cas de transmission verticale, le passage à la prochaine génération (Zabalgogazcoa, 2008).

3.3.5. Spécificité de l'hôte

Des études récentes ont suggéré que les champignons endophytes ne seraient pas spécifiques à l'hôte (Cohen, 2006); en général, les communautés endophytes diffèrent significativement entre les espèces d'hôtes, même les hôtes qui sont étroitement liés (Arnold, 2007; Hoffman et Arnold, 2008). Cependant, il y a des endophytes qui sont limités à une seule espèce d'hôte.

Les relations des endophytes avec une ou plusieurs plantes peuvent être décrites en termes de spécificité de l'hôte, récurrence de l'hôte, sélectivité de l'hôte et préférence de l'hôte (Cohen, 2006; Zhou et Hyde, 2001). La première est la relation qui lie le champignon avec un seul hôte ou un groupe mais d'espèce apparentées, et pas avec d'autres plantes indépendantes dans le même habitat (Huang *et al.*, 2008). La deuxième, c'est la fréquence ou la prédominance d'un champignon sur une plante ou une gamme de plantes mais peut également se produire, mais rarement sur d'autres plantes dans le même habitat (Zhou et Hyde, 2001).

Quand un champignon endophyte peut se lier avec deux espèces de plantes apparentées, mais avec une préférence pour l'une d'elle, la relation est appelée sélectivité de l'hôte. La préférence de l'hôte, quant à elle, est souvent utilisée pour indiquer la dominance ou la survéance unique d'un champignon sur un hôte particulier ; elle est aussi utilisée pour indiquer les différences dans les compositions des communautés fongiques et les fréquences d'isolement des différentes plantes hôtes (Bettucci *et al.*, 2004; Suryanarayanan et Kumaresan, 2000).

Certains champignons auraient une large gamme d'hôtes, tels *Alternaria*, *Penicillium* ou *Periformospora*, qui ont des hôtes appartenant à des genres ou des familles différentes de plantes, contrairement à d'autres endophytes comme par exemple *Neotyphodium* qui est un champignon endophyte qui a une gamme d'hôtes restreinte, elle est limitée à une ou deux espèces végétales (Zabalgoitia, 2008).

Nombreuses sont les études qui permettent de dire que les facteurs environnementaux, tels l'application d'engrais, le stress hydrique et des régimes d'humidité saisonnière, en plus de l'identité de l'espèce de l'hôte, peuvent avoir un effet sur les communautés des champignons endophytes (Fujimura *et al.*, 2008; Gonthier *et al.*, 2006; Seghers *et al.*, 2004; Suryanarayanan *et al.*, 2002). L'interaction de ces deux facteurs peut aussi avoir un impact significatif sur la composition endophytique (Hoffman et Arnold, 2008) ont constaté qu'il y'avait une similitude relativement faible entre les communautés d'endophytes de différentes espèces de la famille de *Cupressaceae* qui se trouvaient dans la même localité, et entre celles

de la même espèce hôte dans différentes localités, contrairement à ce qu'ils ont trouvé pour la même espèce hôte dans la même localité où ils ont observé une grande similitude.

3.3.6. Spécificité des tissus

Beaucoup d'endophytes infectent localement des parties de la plante, se limitant à une petite zone du tissu (Zabalgogazcoa, 2008). Des différences d'assemblage des champignons endophytes ont été trouvés dans les différents tissus de la même espèce végétale, ou même dans les différents tissus d'une plante unique, ceci révèle une spécificité des tissus de certains champignons endophytes (Collado *et al.*, 2011; Ganley et Newcombe, 2006). Certains endophytes peuvent être trouvés dans des parties de plantes spécifiques tels les racines, feuilles ou brindilles, tandis que d'autres peuvent infecter plusieurs de ces pièces, comme les espèces systémiques *Neotyphodium* et *Epichloë* infectant les espaces intercellulaire des feuilles, les tiges reproductives et les graines de leurs hôtes, ils peuvent être isolés à partir de différentes parties de la même plante (Zabalgogazcoa, 2008).

3.3.7. Rôles des champignons endophytes

Les champignons endophytes reçoivent la nutrition, la protection, et la possibilité de se propager grâce à leurs hôtes (Clay et Schardl, 2002); et en retour la plante hôte bénéficie aussi de certains avantages procurés par l'endophyte.

Les plantes sont constamment menacées par une variété d'agents comme les microorganismes (champignons, bactéries et virus), les herbivores et les insectes. Cependant, les plantes possèdent un vaste arsenal inductible et constitutif de mécanismes de défense contre ses agents, dont les obstacles structuraux qui se renforcent rapidement lors du processus d'infection (cire, lignine, cellulose, composés phénoliques et des protéines de la paroi cellulaire) sont le type le plus performant de défense.

Les plantes abritant des champignons endophytes sont protégées aussi contre ces agents par la contribution de ces endophytes. Divers mécanismes de lutte sont utilisés par les derniers.

a. Protection contre les microorganismes pathogènes

Plusieurs mécanismes peuvent être utilisés par les endophytes pour inhiber les microorganismes phytopathogènes. Parmi eux, il y'a la production d'antibiotiques, la stimulation des mécanismes de défense de l'hôte, la concurrence pour la nourriture ou les sites de colonisation, et le mycoparasitisme (Cao *et al.*, 2009). De nombreuses espèces de mycoendophytes produisent plusieurs métabolites secondaires dont des substances antibiotiques (Schulz et Boyle, 2005; Strobel, 2002b; Wang *et al.*, 2007). Parmi les premières

études, Koshino a démontré que le champignon endophyte *Epichloë typhina* de *Phleum pretense* produisait des sesquiterpènes (chokols AG) jugés être des fongitoxiques contre le champignon pathogène *Cladosporium phlei*, il y a aussi la cryptocine qui est produite par l'endophyte *Cryptosporiopsis quercina* d'une plante médicinale *Tripterigeum wilfordii*, elle a montré une puissante activité contre *Pyricularia oryzae* agent de la pyriculariose du riz (Li *et al.*, 2000). Plusieurs extraits liquides des cultures des endophytes ont démontrés une inhibition de la croissance de plusieurs espèces de champignons phytopathogènes (Inacio *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2005). (Dingle et McGee, 2003; Istifadah et McGee, 2006) ont fait l'expérience avec les endophytes du blé *Chaetomium* et *Phoma*, l'inoculation de ces champignons ainsi que l'application de leurs filtrats de cultures sur la plante ont réduit de la même façon la sévérité de la maladie foliaire causé par *Puccinia spp.* et *Pyrenophora*. Les mycoendophytes peuvent aussi induire ou activer des mécanismes de défenses des plantes hôtes (Arnold *et al.*, 2003).

(Rodriguez *et al.*, 2004) ont observé que les mécanismes de défense étaient activés plus rapidement chez les plantes hôte que chez les autres plantes, ces mécanismes principalement impliqués dans la défense sont la stimulation du métabolisme oxydatif, la mort cellulaire rapide et localisée, l'accumulation de phytoalexines et la synthèse de protéines reliées à la pathogénèse (PR). Lors de l'inoculation de *Piriformospora indica*, un endophyte qui colonise les racines des plantes, une résistance contre deux champignons pathogènes vasculaire (*Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.) et foliaire (*Blumeria graminis* (DC.) Speer) a été observée. La protection contre l'agent pathogène foliaire semble être médiée par un mécanisme de résistance induit, où il y a eu une réaction de défense impliquant la mort des cellules hôte (Waller *et al.*, 2005).

b. Protection contre les insectes

Certains endophytes peuvent aussi protéger leurs hôtes contre les insectes en produisant des métabolites secondaires (Clay et Schardl, 2002; Riedell *et al.*, 1999; Spiering *et al.*, 2005). Webber (1981), a probablement été le premier à démontrer la protection des végétaux contre les insectes due à des champignons endophytes par l'exemple de l'endophyte *Phomopsis oblonga*, qui protège les ormes contre le dendroctone *Physocnemum brevilineu*, vecteur d'un champignon pathogène qui provoque la maladie hollandaise de l'orme; cet endophyte produit des composés toxiques qui auraient un effet répulsif contre ce vecteur de l'agent pathogène. Cela a été confirmé quatre ans plus tard par (Claydon *et al.*, 1985) qui ont démontrés que les champignons endophytes appartenant à la famille des *Xylariaceae*

synthétisaient des métabolites secondaires chez les hôtes du genre *Fagus*, ces derniers affectaient les larves des coléoptères.

c. Rôles des endophytes dans la tolérance aux stress abiotiques

Tout au long de l'évolution, les plantes ont été confrontées à des conditions environnementales changeantes, les obligeant à s'adapter ou à succomber à des températures extrêmes, des insuffisances d'eau et des produits chimiques. Plusieurs études ont démontrés que les plantes associées à des champignons endophytes ont été plus tolérantes à la sécheresse, la chaleur, la toxicité des métaux et à une salinité élevée (Lewis, 2004; Rodriguez *et al.*, 2004; Waller *et al.*, 2005). Les champignons endophytes des graminées fourragères (Fétuque élevée) augmentent de manière significative la tolérance à la sécheresse de cette espèce (Clay et Schardl, 2002). La teneur en eau des graminées associées à des endophytes était plus élevée que celle des graminées dépourvues d'endophytes (Buck *et al.*, 1997; Elbersen et West, 1996).

Ce phénomène peut s'expliquer par l'accumulation accrue de solutés dans les tissus des plantes infectées par les endophytes par rapport aux autres, ou par la réduction de la conductance foliaire et un ralentissement du flux de transpiration (Malinowski et Belesky, 2000), ou encore par la limitation de la germination des graines et réduire le risque de la mort de la plantules (Gundel *et al.*, 2006). De même pour la teneur en aluminium du sol, *Festuca spp.* infectée par les endophytes a démontré une plus grande tolérance à l'aluminium et une plus grande croissance par rapport à la plante non infectée (Liu *et al.*, 1996; Zaurov *et al.*, 2001).

Redman *et al.* (2002) a démontré que les champignons endophytes pourraient aussi augmenter la tolérance à la chaleur chez leurs hôtes, cette tolérance a été détectée chez *Dichanthelium lanuginosum* infecté par l'endophyte *Cuvularia sp.* et qui résiste à des températures élevées de 65°C, alors que les plantes non infectées ne résistaient même pas à une température de 40°C.

Il a été suggéré que l'endophyte agirait comme un déclencheur biologique pour activer la réponse au stress plus rapidement et plus fortement que dans les plantes non symbiotiques, cette résistance à la température peut être très avantageuse pour ces plantes qui pourraient croître dans des chaleurs où tous les agents pathogènes, les ravageurs et les mauvaises herbes ne résisteraient pas.

Il a été démontré que l'endophyte *Piriformospora indica* protège l'orge du stress salin; l'exposition des plantes infectées pendant deux semaines au sel modéré (100 mM de NaCl) a permis d'obtenir une plus grande biomasse que celle des plantes contrôles sous les mêmes conditions, l'orge non infecté a même montré une augmentation de chlorose des feuilles et une croissance réduite des semis par rapport à l'orge infecté (Waller *et al.*, 2005).

En plus de la protection contre les agents pathogènes et la tolérance aux conditions abiotiques stressantes que les endophytes procurent à leurs hôtes, ils peuvent améliorer leur photosynthèse, par exemple quand *Agave victoria-reginae* grandit en présence du champignon endophyte *Fusarium oxysporium*, la chlorophylle totale et la teneur en sucre augmente, entraînant une augmentation du rendement de la photosynthèse des plantes par rapport aux autres dépourvues d'endophyte (Obledo *et al.*, 2003). Ils peuvent aussi améliorer la croissance de nombreuses espèces végétales (Tan et Zou, 2001), cette amélioration de la croissance de l'hôte est due en partie à la production de phytohormones par l'endophyte, tels que l'indole-3-acetic acid (IAA), indole-3-pyruvic acid (IPA), cytokines et d'autres substances de promotion de la croissance comme les vitamines, et en partie du fait que les endophytes peuvent améliorer l'absorption des éléments nutritifs par l'hôte comme la fixation de l'azote et l'assimilation du phosphore, et ils régulent les qualités nutritionnelles (Tan et Zou, 2001; Nassar *et al.*, 2005; Waller *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006).

3.3.8. Champignons endophytes comme source de produits naturels bioactifs

Les champignons endophytes sont considérés comme un important réservoir de nouveaux métabolites secondaires bioactifs (Strobel *et al.*, 2004; Tan et Zou, 2001), produisant le plus grand nombre de métabolites secondaires par rapport aux autres catégories de microorganismes (Zhang *et al.*, 2006), ainsi qu'une grande diversité structurale comprenant des alcaloïdes (amines, amides...), peptides, stéroïdes, terpénoïdes, phénols, quinones, composés aliphatiques, flavonoïdes etc. (Yu *et al.*, 2010). Ces substances naturelles produites par les champignons endophytes possèdent un large spectre d'activité biologique (Zhang *et al.*, 2006), comprenant des composés antibiotiques, antifongiques, antiviraux, immunosuppresseurs, agents anticancéreux, antioxydants, insecticides et autres substances biologiquement actives (Strobel *et al.*, 2004; Strobel et Daisy, 2003).

3.4. La germination

La germination d'une graine est définie comme étant la somme des événements qui commencent avec l'imbibition et se termine par l'émergence d'une partie de l'embryon, généralement la radicule, à travers les tissus qui l'entourent (Bewley, 1997).

L'eau est d'abord absorbée par les ouvertures naturelles de la graine, puis diffusée à travers ses tissus (Young et Young, 1986). Les cellules de la graine deviennent ensuite turgescentes. La graine grossit alors en volume et devient davantage perméable à l'oxygène et au dioxyde de carbone. À la suite de l'hydratation, sous l'effet de la dilatation de la graine, les téguments s'ouvrent, et l'embryon subit des changements métaboliques qui réamorcent sa croissance. Des enzymes commencent à dégrader les réserves contenues dans l'albumen ou dans les cotylédons, et les nutriments parviennent aux régions en croissance de l'embryon. La synthèse de nouvelles molécules donne lieu à une augmentation en taille de l'embryon jusqu'à ce que ce dernier émerge de la graine. Le premier organe à émerger de la graine est généralement la radicule qui constitue la racine embryonnaire. S'ensuit l'émergence de l'épicotyle et des cotylédons, qui constituent la partie aérienne de la plantule.

3.4.1. Morphologie et physiologie de la germination

a. La morphologie de la graine

Une graine est formée de trois éléments différents (Young et Young, 1986). L'élément le plus externe est une couche protectrice appelée « téguments » de la graine. Plus à l'intérieur, on trouve, dans le cas des graines albuminées, un tissu de réserve appelé « albumen » ou « endosperme » chez les angiospermes. Enfin, au cœur de la graine, se trouve l'embryon. Ce dernier est formé d'une radicule (future racine), d'un ou de plusieurs cotylédon(s) (un, dans le cas des monocotylédones, deux, pour les dicotylédones, ou plusieurs, chez les gymnospermes), d'un épicotyle (future tige), d'une plumule (bourgeon apical), et enfin d'un hypocotyle qui fait le lien entre les parties aériennes et les parties souterraines de la future plante. En règle générale, les graines mûrissent, deviennent quiescentes, puis germeront dès que de l'eau, de l'oxygène et des conditions de températures adéquates leur seront fournies (Srivastava, 2002).

La graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et s'oriente vers le milieu (sol) selon un géotropisme (gravitropisme) positif. Puis, la tigelle émerge et

s'allonge vers le haut (le ciel). Les téguments de la graine se dessèchent et tombent (Meyer et *al.*, 2004).

b. Physiologie de la germination

Au cours de la germination, la graine se réhydrate et consomme de l'oxygène pour oxyder ses réserves en vue d'acquies l'émergence nécessaire. La perméabilité du tégument et le contact avec les particules du sol conditionnent l'imbibition et la pénétration de l'oxygène, les réserves de toute nature sont digérées (Michel, 1997).

3.4.2. Types de germination

a. Germination épigée

La graine est soulevée hors du sol car il y a un accroissement rapide de la tige qui donne l'axe hypocotyl qui soulève les deux cotylédons hors du sol. La gemmule se développe (après la radicule) et donne une tige feuillée au-dessus des deux cotylédons. Le premier entrenœud donne l'épicotyl. Les premières feuilles, au-dessus des cotylédons sont les feuilles primordiales (Ammari, 2011).

b. Germination hypogée

Contrairement à une germination épigée la germination hypogée voit la graine rester dans le sol. Les parties supérieures au-dessus des cotylédons de la plantule sont plus poussives et laissent donc la graine dans le sol.

3.4.3. Les phases de la germination

Le processus de germination d'une semence orthodoxe se déroule en 3 phases successives, celles-ci peuvent être facilement mises en évidence en suivant l'évolution de l'absorption d'eau par une semence mise à germer (Côme 1982).

a. Phase d'imbibition : pendant laquelle la semence fortement déshydratée absorbe rapidement de l'eau au départ puis plus lentement par la suite.

b. Phase de germination : au cours de laquelle la semence n'absorbe pratiquement plus d'eau, représente le véritable processus de germination ou germination stricto sensu.

c. Phase de croissance : le début de l'allongement de la radicule de l'embryon, qui correspond au démarrage de la 3ème phase. Cette dernière est marquée par une reprise de l'absorption d'eau due à l'allongement de la jeune racine.

3.4.5. Condition de la germination

a. Condition internes de la germination

Les conditions internes de la germination concernent la graine elle-même, qu'elle doit être vivante, mure, apte à germer (non dormante) et saine (Jeam et *al.*, 1998).

b. Condition externes de la germination

La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, et la température (Soltner, 2007).

- **L'eau :** Selon Chaussat et *al.*, (1975), La germination exige obligatoirement de l'eau, celle-ci doit être apportée à l'état liquide. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes. Elle est remise en solution dans les réserves de la graine, pour être utilisée par l'embryon, et provoque le gonflement de leurs cellules, donc leur division (Soltner, 2007).
- **L'oxygène :** La germination exige obligatoirement de l'oxygène (Soltner, 2007). Selon Mazliak (1982), une faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination. D'après Meyer et *al.*, (2004), l'oxygène est contrôlé par les enveloppes qui constituent une barrière, mais en même temps une réserve.
- **La température :** La température a deux actions, soit directe par l'augmentation de vitesse des réactions biochimiques, c'est la raison pour laquelle il suffit d'élever la température de quelques degrés pour stimuler la germination (Mazliak, 1982), soit indirect par l'effet sur la solubilité de l'oxygène dans l'embryon (Chaussat et *al.*, 1975).

3.4.6. Différent obstacles de la germination

Ce sont tous des phénomènes qui empêchent la germination d'un embryon non dormant (ce qui donne naissance à la nouvelle plante et constitue la partie vivante et active de la semence) placé dans des conditions convenables (Mazliak, 1982). L'inaptitude à la germination de certaines graines peut être d'origine tégumentaire, et/ou embryonnaire due à

des substances chimiques associées aux graines, ou à une dormance complexe (Bensaid, 1985) ; Des graines qui ne germent pas, quelles que soient les conditions de milieu, sont des graines dites « dormantes », et leur dormance peut concerner soit les téguments, on parle alors plutôt d'inhibitions tégumentaires, soit l'embryon, on parle alors de dormance au sens strict, soit les deux à la fois (Soltner, 2001).

a. Inhibitions tégumentaires

Les dormances tégumentaires peuvent provenir : d'une imperméabilité à l'eau ou à l'oxygène ou aux deux, c'est le cas des « graines dures » (Soltner, 2001). La levée de l'inhibition tégumentaire des graines constitue un facteur adaptatif important pour la survie de l'espèce, puisqu'elle permet le maintien d'un stock de graine et leurs viabilité dans le sol. D'après Mazlaik (1982), les inhibitions tégumentaires peuvent être facilement définies par : les semences ont des enveloppes ;

- Totalement imperméable à l'eau.
- Les enveloppes séminales ne sont pas suffisamment perméables à l'oxygène.
- Des enveloppes trop résistants pour que l'embryon puisse les rompre.

Les inhibitions chimiques sont certainement plus rares dans les conditions naturelles. Leurs nature exacte reste généralement inconnue, car elles n'ont pas souvent été isolées (Mazliak, 1982).

b. Dormance embryonnaire

Dans ce cas les inaptitudes à la germination résident dans l'embryon et constituent les véritables dormances. L'embryon peut être dormant au moment de la récolte des semences on appelle « dormance primaire ». Dans d'autre cas, l'embryon est capable de germer mais il perd cette aptitude sous l'influence de divers facteurs défavorables à la germination on parle alors de « dormance secondaire » (Chaussat et *al.*, 1975).

3.4.7. La levée de dormance :

Elle s'effectue dans la nature par l'altération des enveloppes, sous l'effet de la sécheresse, qui fait craqueler les téguments, ou celui des alternances de sécheresse et d'humidité, plus efficaces encore, ou des alternances de gel et de réchauffements, ainsi que sous l'action des Bactéries et Champignons du sol. Les inhibiteurs volatils s'évaporent avec le temps et les autres sont peu à peu lessivés par les pluies.

Artificiellement, on peut pratiquer la scarification, terme qui désigne, par extension du sens propre tout traitement, mécanique ou autre, qui brise ou affaiblit les téguments : décortication, trituration, battage, procédés chimiques (à manier avec discernement pour ne pas léser l'embryon : des bains de quelques instants dans l'éther, l'alcool ou l'eau bouillante sont parfois utilisés) (Heller, *al.*, 2000).