

## ECOSYSTEMES | VISION PROSPECTIVE



Christophe Neff\*  
*Université de Karlsruhe*  
*GOPA Consultants*

**TIRÉ A PART\***

### RÉSUMÉ du chapitre Ecosystèmes | Zones humides

L'analyse des **écosystèmes** de Tunisie est opérée en deux temps : d'une manière classique, tout d'abord, de manière analytique et critique, ensuite. Une section particulière est réservée à l'étude des zones humides.

L'analyse diagnostic des écosystèmes et de leurs ressources naturelles fournit l'évolution de l'occupation de l'espace, la productivité des écosystèmes et les facteurs de leurs perturbations.

Les changements d'occupation du sol ont surtout touché les forêts et les steppes. Les productions de ces écosystèmes montrent en général une diminution qui pourrait être liée à des péjorations climatiques. Certaines analyses montrent cependant un effet de fertilisation carbonée positif dans l'écosystème forestier, qui reste à démontrer par une recherche approfondie.

Les perturbations des forêts suite aux feux montrent un effet cyclique qui pourrait être lié aux cycles de sécheresse qui caractérisent le climat méditerranéen et une tendance globale d'augmentation du nombre de ces perturbations en fonction du temps qui pourrait être lié à la tendance globale du changement climatique.

Le climat pourrait toutefois n'être qu'un catalyseur de ces perturbations. La végétation semble en effet s'être adaptée aux fluctuations climatiques se traduisant par une suite d'années humides et d'années sèches.

---

\* République tunisienne | Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques, Coopération technique allemande | GTZ, GOPA Consultants, ExA Consult Tunisie, Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung | ZEU – 2005

Les écosystèmes sont donc naturellement dotés d'une stabilité, au moins au niveau des espèces, ainsi que d'une résilience qui leur permettent de revenir à l'état d'équilibre (climax ou sub-climax) après avoir été perturbés, à condition qu'ils n'aient pas atteint le seuil de non-retour et que le temps leur soit donné pour atteindre cet état d'équilibre.

Il est ainsi estimé que les **écosystèmes tunisiens** ont une grande capacité de résilience face aux changements climatiques (variations spatio-temporelles), la question clef consistant, dès lors, à savoir **à quel degré le changement climatique va pouvoir changer la donne des pressions humaines sur l'environnement.**

Les experts nationaux et internationaux ont développé un schéma nommé MCPO de hiérarchisation de vulnérabilité des agro-écosystèmes tunisiens envers le changement climatique. Sous ce schéma, les experts ont identifié «les Plaines centrales et sud» suivant une analyse classique traditionnelle « désertification » comme les agro-écosystèmes les plus fragiles et les plus vulnérables aux changements climatiques et globaux. Suivant une analyse «changement climatique» au niveau fonctionnel écologique, ce sont les régions du Nord (Kroumirie-Mogod, Nord-Est Cap Bon, Dorsale et Tell) qui, dans une perspective d'ensemble semblent être les régions les plus vulnérables face aux changements.

L'expert international suggère une analyse croisée de simulation régionale (MED GROW), analyse géostatistique des rendements agricoles et étude de cas environnemental interdisciplinaire régional et local pour avoir une première estimation des impacts d'un changement climatique pour la Tunisie au niveau national, régional au niveau des agro-écosystèmes et régions naturelles.

Modo grosso, sans pouvoir se rallier à des scénarios de simulation précis, on peut distinguer quatre types de réactions environnementales face aux changements climatiques en Tunisie :

- Augmentation des variations spatio-temporelles des récoltes agricoles ;
- Augmentation des polluants biologiques (cf. Néophytes *Solanum elaeagnifolium*) ;
- Augmentation de la dynamique des feux de végétation/incendies (croissance versus diminution) ;
- Risque accru que les derniers restes de végétation endémique (exemple: forêt de Cyprès de Maktar, etc.) disparaissent et affectent la richesse biologique locale, régionale, nationale et globale (perte de biodiversité globale).

La section **Zones humides** est le fruit d'une synthèse de la documentation disponible. Elle reflète les informations reposant sur des données publiées par les Ministères de l'Agriculture, de l'Environnement et de l'Aménagement territorial et de leurs divisions, services et agences respectifs. Des entretiens avec des agents ont permis d'éclaircir ou d'actualiser les données.

Les programmes et projets des aménagements sont en pleine évolution, à la suite de changements notables au niveau de certains composants écologiques et socio-économiques qui ont évolué. Ceci est particulièrement vrai pour de nombreux sites de zones humides, où de nouveaux travaux de constructions pour la rétention des eaux sont en cours, modifiant ainsi ces dernières.

Christophe Neff

## Ecosystèmes tunisiens

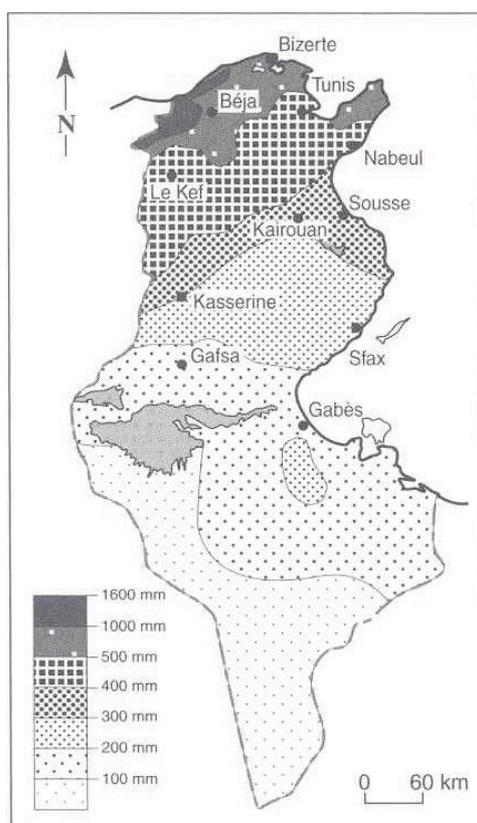
### Une vision prospective face aux changements climatiques et globaux

La Tunisie se situe géographiquement à cheval entre le monde méditerranéen et le monde subtropical aride (cf. Kassab & Sethom 1980 : 9).

Elle doit à cette situation géographique une grande diversité d'unités paysagères et une richesse écologique spécifique. Mais cette situation géographique spécifique met les divers paysages tunisiens sous pression de divers facteurs naturels et humains qui les rendent par définition plus fragiles que d'autres écosystèmes du pourtour méditerranéen.

Les deux principaux vecteurs responsables sont le climat – grande variabilité spatio-temporelle organisée le long d'un gradient Nord-Sud – et l'empreinte de diverses civilisations qui ont façonné le paysage tunisien depuis l'aube des temps.

L'objectif de cette section est d'analyser les conséquences d'un réchauffement climatique pour les écosystèmes tunisiens. Pour des raisons analytiques, la distinction est faite entre les changements climatiques (Climate change or Global climatic change) et les changements globaux en général (Global environmental changes, Global change).



**Figure 1** : Gradient écologique nord/sud et pluviométrie en Tunisie

Ben Boubaker, H., Benzarti, Z., Henia, L. 2003 : 38

## A) Axiomes de travail

Les divers experts réunis lors du colloque du 1 – 6.7.2005 à Sidi Bou Said sont tombés d'accord sur cinq bases de travail.

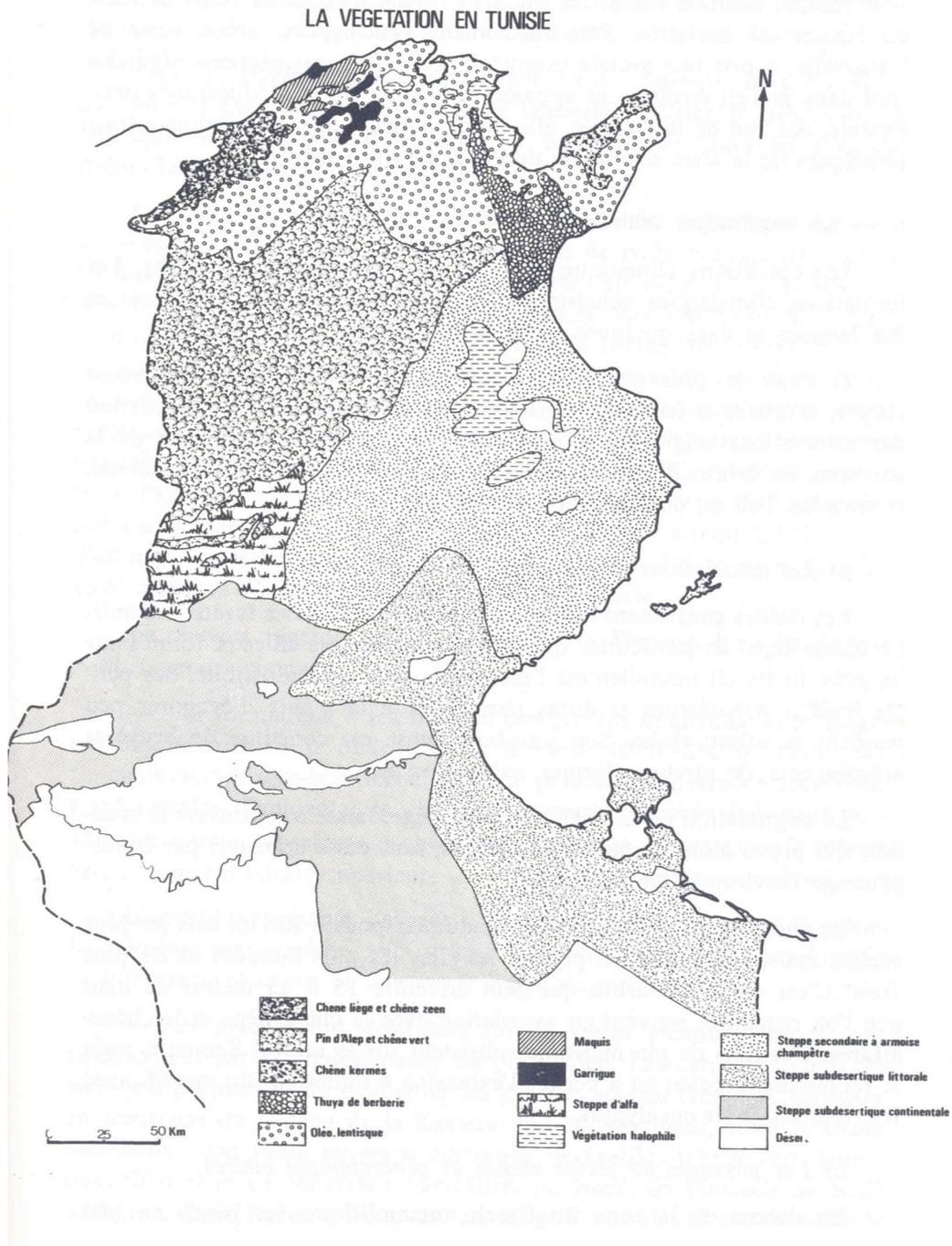
- Tous les écosystèmes tunisiens per se sont capables de résister à un changement climatique – ou par définition apte à une grande variabilité spatio-temporelle – qu'il s'agisse de systèmes méditerranéens, steppiques ou désertiques.
- La vulnérabilité des écosystèmes tunisiens n'est pas à priori une conséquence des facteurs climatiques, mais des résultats des pressions humaines historiques, actuelles et futures. Le terme de changements globaux (global environmental changes) est donc introduit pour mieux cibler l'analyse. Les termes de vulnérabilité et de fragilité sont seulement utilisables si on considère les écosystèmes comme générateurs de diverses ressources pour les sociétés humaines. (Fig. 1 et notion d'emmentalité). L'agriculture a par définition de forts liens avec les écosystèmes, divers auteurs les incluant même dans la définition des écosystèmes, du paysage ou des paysages culturels méditerranéens (Blondel & Aronson 1999, Grove & Rackham 2001, Neff & Frankenberg 1995). Neff (2000) définit les écosystèmes méditerranéens comme un système piloté par le climat général, le feu et l'homme. Cette vue schématique des principaux vecteurs dynamiques des écosystèmes méditerranéens et maghrébins est reprise dans la Figure 3a. Sous l'impulsion des experts tunisiens, ce schéma a été légèrement modifié par l'introduction de la notion de «facteurs destructeurs» – qui englobe aussi bien l'érosion<sup>1</sup> (hydrique et éolienne) que le feu<sup>2</sup>. Nous avons repris cette notion dans la Figure 3.b – facteurs clefs de la dynamique environnementales des écosystèmes tunisiennes (adaption de Neff 2000).
- L'analyse repose sur cette définition de Neff (2000) en respectant ainsi l'importance de l'agriculture pour les régions rurales tunisiennes et pour la Tunisie comme entité géographique. Dans cette logique, on peut déduire que l'agriculture peut être comprise comme partie importante de divers écosystèmes tunisiens – et en dépend.
- Les prévisions de changement climatique au niveau régional tunisien, voire au niveau régional du bassin méditerranéen du Sud-Ouest, ne donne guère de résultats convaincants. Par exemple l'étude d'impact régional du bassin méditerranéen commandé par le WWF et publié en juillet 2005 (Giannakopoulos, C. et al. 2005) résultant d'un changement climatique, ne semble donner que des résultats assez flous et contradictoires. Notons que l'étude des rendements agricoles (crops simulation models) couplée aux modèles des scénarios de base de cette étude d'impact climatique, montre une croissance du rendement des céréales pour la Tunisie de + 13% (Giannakopoulos, C. et al. 2005 : 61) et une diminution des récoltes de maïs de –6 à -12% (Giannakopoulos, C. et al. 2005 : 63). Jusqu'à présent, il n'existe que des études de « downscaling » fiables, scientifiquement objectives et valables au niveau régional tunisien.
- Comme hypothèse de travail, l'axiome suivant est défini : les températures et les précipitations grosso modo ne changeront guère – ou les changements anticipés seront d'une grandeur négligeable. Les experts pensent qu'il y aura des changements en ce qui concerne la variabilité spatio-temporelle du climat, surtout en ce qui concerne les précipitations et les phénomènes extrêmes (sécheresse, inondations).
- Une augmentation considérable de la dynamique climatique régionale avec augmentation des variabilités spatio-temporelles des précipitations et une forte augmentation des phéno-

---

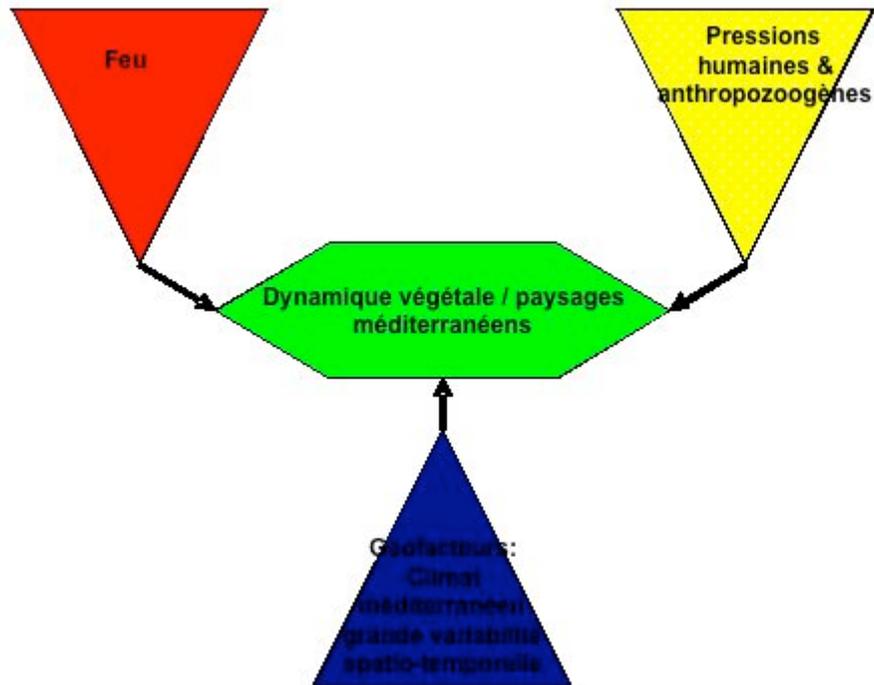
<sup>1</sup> L'érosion peut être considéré comme un des principaux facteurs destructeurs des écosystèmes tunisiens. D'après le point de vue de la plupart des experts tunisiens l'érosion est le plus grand danger actuel (et futur) des agro-écosystèmes du Sud de la Tunisie. Déjà Frankenberg (1981 :158) considérait processus de désertification et érosions des sols comme le principal danger pour l'agriculture tunisienne.

<sup>2</sup> Le feu peut être vecteur dynamique destructeur – mais aussi bien vecteur dynamique régénérateur d'écosystèmes (cf. Trabaud 2004). La valeur positive ou négative d'un feu de forêt dépend donc beaucoup des individualités géographiques, écologiques fonctionnelles de l'écosystème parcouru par le feu – et naturellement de la fréquence de feux sur le système. (Neff 2000)

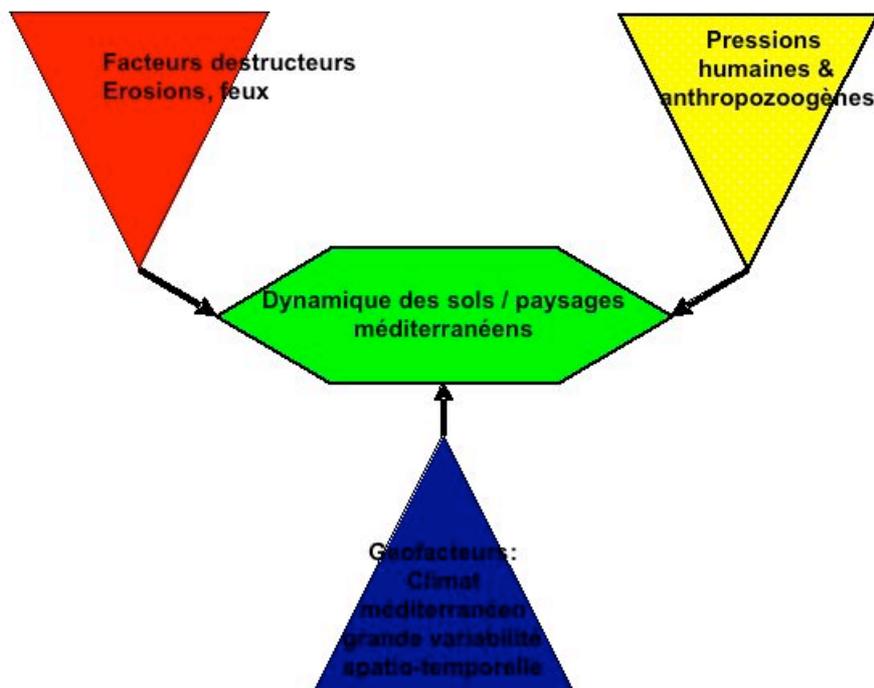
mènes extrêmes de sécheresse et d'inondation est avant tout anticipée. Ces phénomènes pourraient même se succéder d'une manière beaucoup plus courte, que ce soit à l'échelle du temps (intervalles plus courts entre chaque phénomène extrême) ou à l'échelle géographique. En plus, due à la plus grande dynamique climatique il est à prévoir que ces phénomènes extrêmes seront beaucoup plus intensifs.



**Figure 2 :** Gradient écologique nord/sud et végétation en Tunisie  
Kassab & Sethom 1980 : 67



**Figure 3a :** Facteurs clefs de la dynamique végétale des écosystèmes méditerranéen & maghrebins  
Adaption de Neff 2000



**Figure 3b :** Facteurs clefs de la dynamique environnementale des écosystèmes tunisiens  
Adaption de Neff 2000

## B) Changements climatiques et réactions des écosystèmes tunisiens

Les divers écosystèmes tunisiens ont tellement subi l'emprise humaine historique – qu'il n'existe plus d'écosystèmes forestiers de refuge endémique – comme Quezel & Medail (2003:62) les ont décrits pour le Maroc et l'Algérie. Même constant pour les écosystèmes steppiques – l'action humaine historique avait une telle emprise que, scientifiquement, il semble impossible de différencier entre les «steppes primitives» et le «steppes secondaires issues de l'action anthropozoogène» (Quezel & Medail 2003:95). Ajoutons que le même constat vaut pour les rares arbres et arbustes de la Tunisie méridionale – tous victimes des pressions humaines historiques et actuelles (Zaafouri & Chaibeb 1999).

Pour citer des exemples phares des écosystèmes maghrébins – les arganiers (*Argania spinosa*), le Cyprés de Thassili (*Cupressus dupreziana*), le Thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata*) – toutes ces espèces, qui sont en voie de disparition – et qui sont des espèces endémiques avec une très grande valeur écologiques (et symboliques) pour les écosystèmes Maghrébins – sont particulièrement bien adaptés au phénomène de sécheresses répétées. Leur disparition annoncée est la conséquence des divers pressions humaines qui s'exerce sur leurs milieux respectives (Benhouhou et al. 2005 ; Quézel & Médail 2003 ; Tarrier & Benzyane 2003). De ces trois espèces citées en haut, seule *Tetraclinis articulata* est actuellement présente en Tunisie. Notons qu'on pourrait inclure les peuplements de *Cupressus sempervirens* de Maktar<sup>3</sup> dans cette catégorie, même si leur caractère endémique est discutable (Quézel & Médail 2003, 132). El Hamrouni par contre (cf. document annexe El Hamrouni, Zeddami 2005) pense que la forêt de Cypres de Maktar constitue un peuplement autochtone de *Cupressus sempervirens* var. *numidica*. Par contre tous les auteurs semblent être d'accord que cette forêt relique représente un riche héritage écologique dont la survie est malheureusement fortement mise en danger par la forte pression humaine. Ce constat vaut pour les rares endroits où le chêne afar (*Quercus afarensis*) a pu survivre en Tunisie.

Les degrés de vulnérabilité de ces divers écosystèmes sont donc a priori une fonction directe des pressions humaines historiques – et sont seulement dans un moindre degré influencés par les variations climatiques historiques. Un changement climatique sous pression humaine constante n'aurait donc pas de grandes conséquences pour les divers écosystèmes tunisiens. La question clef pour l'analyse des écosystèmes est donc en conséquence de savoir comment le changement climatique peut, via les changements de comportement humains, influencer la vulnérabilité des écosystèmes tunisiens. Ce changement du comportement humain lié à l'évolution climatique n'est pas l'objectif de cette étude – mais pour des études à venir, il serait utile de pouvoir disposer d'un tel scénario du changement de comportement humain lié au changement climatique.

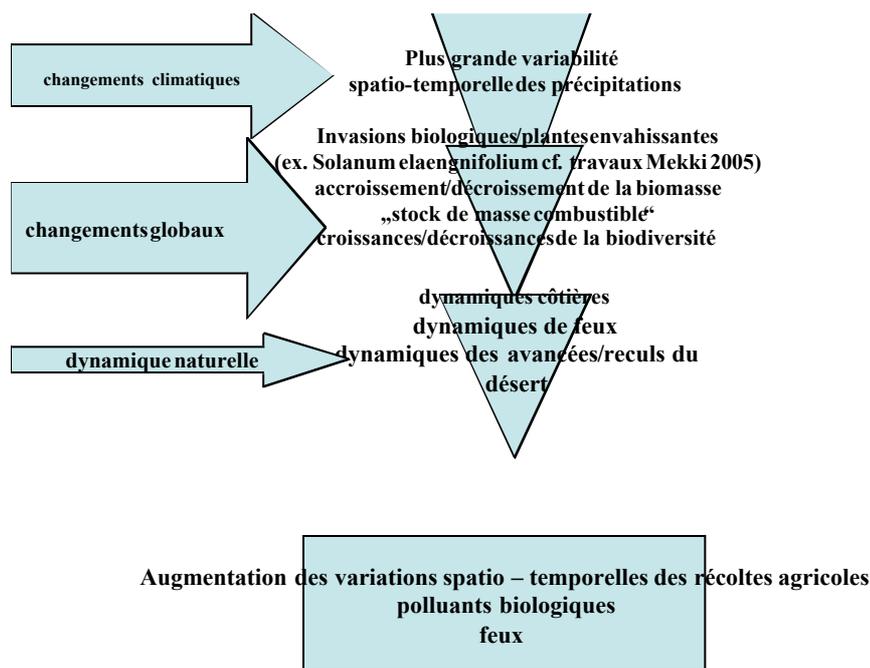
Pour une analyse plus fine des divers éco- et agro-écosystèmes, la Figure 4, exposée durant le dernier Atelier de Sidi Bou Said fait foi. Ce «tableau» peut être utilisé comme base analytique pour construire de différents scénarios de projections<sup>4</sup> pour les agro-écosystèmes<sup>5</sup> tunisiens.

---

<sup>3</sup> «La zone naturelle à cyprès de Maktar, espèce à grand intérêt forestier et agro forestier. Bien que propagé dans le pays par le biais des reboisements, le cyprès de Maktar n'existe plus en Tunisie dans son écosystème naturel que dans un petit site d'environ 4 ha près de la localité Bouabdella. Cette petite forêt-relique est en voie de disparition. Sa régénération n'est possible qu'après une réhabilitation de son milieu agressé par une érosion sévère» (Souissi, A 2000 : 24).

<sup>4</sup> Scénarios utilisés par Treyer (2005) pour l'analyse des ressources en eau à long terme dans la région de Sfax.

<sup>5</sup> Ou Zone Socio- Agro-Economique définie par Souissi 2000 : 23. Voir Annexe 2.1.



**Figure 4** : Impacts des changements climatiques, changements globaux et de la dynamique naturelle du milieu sur les écosystèmes tunisiens

Source: Graphique Neff juillet 2005

Sans avoir opéré une modélisation précise ni une analyse de scénario cohérente, on peut déjà déduire de ce schéma, grossièrement, que l'addition de facteurs «changement climatiques», «changements globaux», «dynamique naturelle», la Tunisie pourrait subir une :

- Augmentation des variations spatio-temporelles des récoltes agricoles.
- Augmentation des polluants biologiques (c.f Neophytes *Solanum elaeagnifolium*<sup>6</sup>).
- Augmentation de la dynamique des feux/incendies (croissance vs. décroissance).

Durant le dernier Atelier de Sidi Bou Said, le groupe a défini une hiérarchie de la vulnérabilité des agro-écosystèmes tunisiens sur la base de ce schéma.

Ce dernier a été appelé MCPO Montagne, Cap Bon, Plaines, Oasis. Sous ce schéma, les experts<sup>7</sup> ont identifié «les Plaines centrales et sud» suivant une analyse classique traditionnelle désertification|sécheresse<sup>8</sup> comme les agro-écosystèmes les plus fragiles et les plus vulnérables aux changements climatiques et globaux.

Suivant une analyse «changement climatique» au niveau fonctionnelle écologique ce sont les régions du Nord (Kroumirie-Mogod, Nord-Est cap Bon et Dorsale et Tell<sup>9</sup>) et vue d'une perspective d'ensemble (vue d'oiseau) qui semblent être les régions les plus vulnérables face au changements climatique. Ces régions concentrent les seuls écosystèmes forestiers

<sup>6</sup> Voir l'étude de Mekki sur *Solanum elaeagnifolium* (Mekki 2006).

<sup>7</sup> Expert nationaux et internationaux (Aloui, A., El Hamrouni, A, Großmann, A., Neff, C., Souissi, A., Zeddani, A.)

<sup>8</sup> Une analyse critique des concepts de sécheresse|lutte contre la désertification dans un contexte géographique se trouve dans Mainguet (2003 ).

<sup>9</sup> Utilisant les Zones Socio- Agro-Economiques définies par Souissi 2000 : 23.

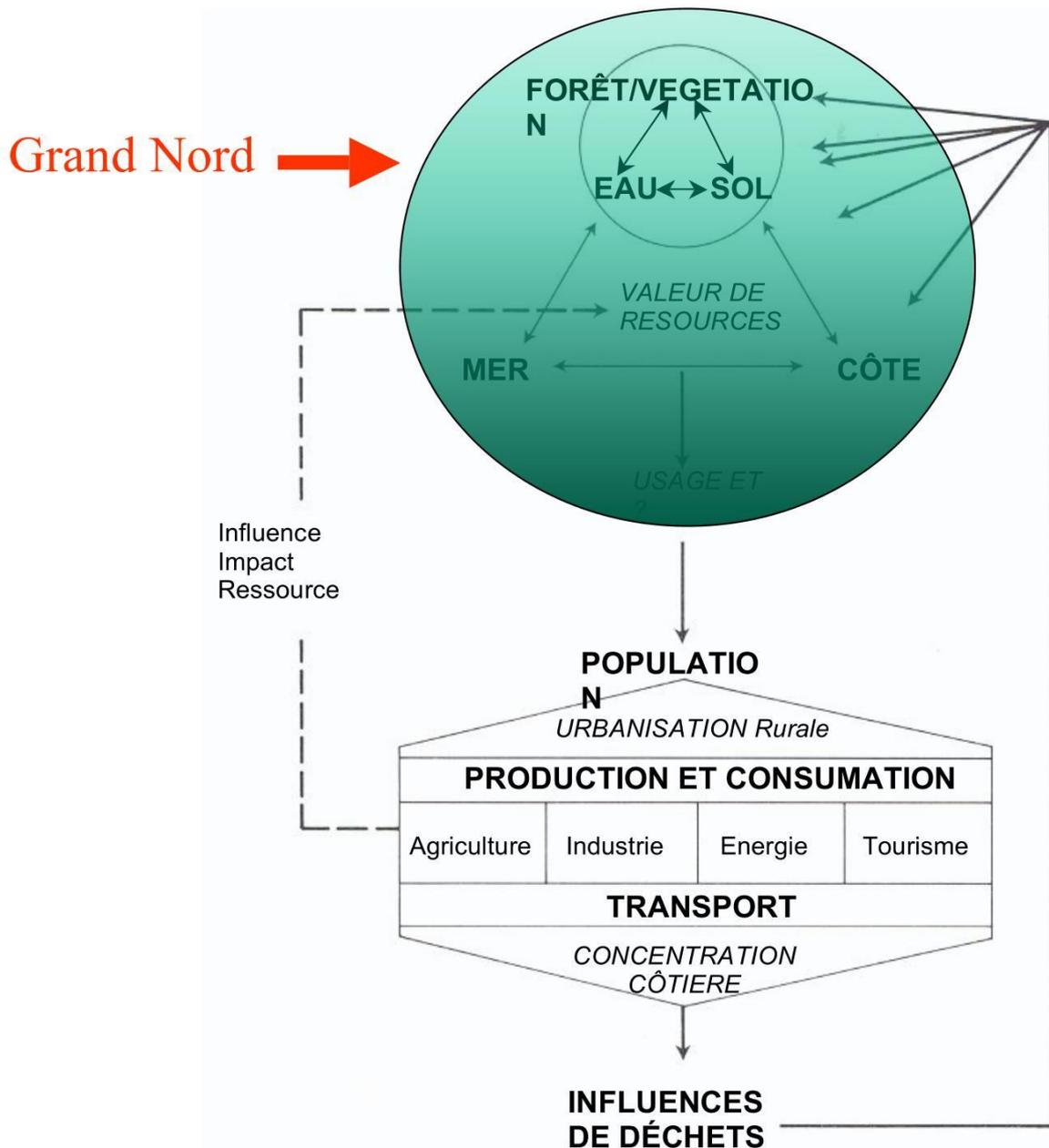
tunisiens et stockent la plus part des ressources hydrauliques de la Tunisie<sup>10</sup>. Dans les lignes qui suivent, ces régions sont réunies sous le nom de «grand nord tunisien» par Neff. L'importance majeure écologique du Grand nord pour la Tunisie est montrée dans la Figure 5.

**Tableau I** – Schéma MCPO

Hierarchisation du degré de vulnérabilité des agro-écosystèmes tunisiens

		Situation géographique	Utilisation	Évaluation Fragilité	Vulnérabilité estimée face aux changements environnementaux (approche traditionnelle désertification/sécheresse)	Vulnérabilité estimée face aux changements climatique
<b>M</b>		Montagne (Mogod, Kroumirie)	- Forêt - Pâturage - Agriculture	▲	+	+++
<b>C</b>		Cap Bon	- Cultures maraîchères - Vin - Céréales - Agrumes - autres arboricultures	▲	+	++
<b>P</b>	<b>PN</b>	Plaine Nord	- Céréales - Bovin	▲	+	+
	<b>PC</b>	Plaine Centrale	- Olio culture - Elevage - Ovin	▲▲	+++	
	<b>PS</b>	Plaine Sud	- Steppe d'Alfa - Camélidés - Ovin	▲▲	+++	
<b>O</b>		Oasis	- Cultures d'oasis	▲	+	

<sup>10</sup> Suivant Cherif (2003 : 52) le Nord Tunisien concentre 80% des eaux de surface et 60% des ressources en eau globales tunisiennes.



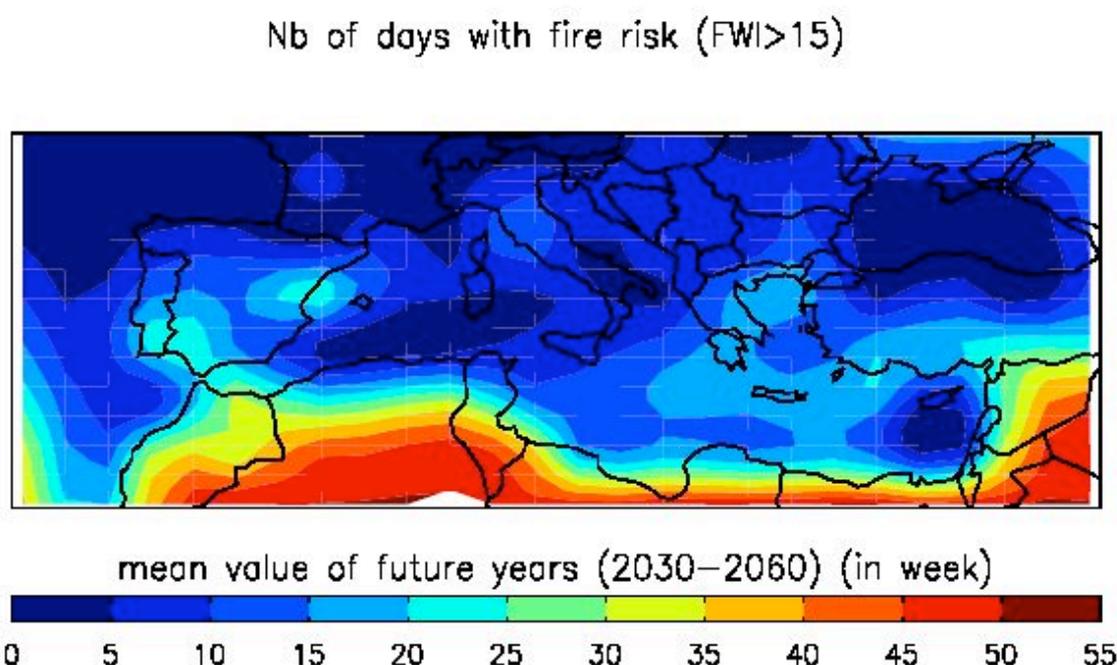
**Figure 5 :** Rôle fonctionnel des écosystèmes du Grand Nord pour la Tunisie  
Adaptation de la Fig 5.1 de Grenon, M., Batisse, M. 1991, 38.

Si ce système subit des pressions considérables, qu'il s'agisse de pressions dues au changement climatique ou aux changements environnementaux globaux – qui mettraient la capacité d'auto-résilience du système en danger – une très grande partie des agro-écosystèmes tunisiens en subira les conséquences. Un scénario «worst case» pourrait être, par exemple, que les forêts de Kroumirie et les Maquis des Mogods disparaissent à cause d'une trop grande surexploitation – et que donc la fonction de régulateur hydraulique que ces forêts constituent cesse de fonctionner. La Medjerda (et le système de retenue hydraulique), qui constitue la clé

de voûte des agro-écosystèmes tunisiens, tomberait à sec ou générerait de crues génératrices de forte érosion agricole, des crues mortelles<sup>11</sup> pour les populations rurales<sup>12</sup>.

### C) Changements climatiques et risques de feu de forêt en Tunisie

Durant le dernier Atelier, C. Neff a évoqué le risque de voir le nombre de feux de forêt augmenter (voir aussi ci-dessous), ce qui pourrait résulter de l'addition de divers changements (globaux et climatiques). Un des principaux résultats de l'étude de Giannakopoulos, C. et al., qui ont été largement distribués sur Internet, est que le risque de feux de forêt dû aux changements climatiques aurait tendance à augmenter considérablement, surtout la catégorie des grands feux (large fires), souvent incontrôlables. C. Neff ne partage pas cette vue simpliste et mécaniste, car le phénomène est beaucoup plus complexe que cela.



**Figure 6** : Carte des estimations des risques de feux de forêt pour la période 2030 – 2060 établie par Giannakopoulos et al. (2005)

Selon les auteurs, ce serait surtout dans le Sahara que le risque de feux de forêt serait maximum.

Giannakopoulos, C. et al. 2005 : 45

<sup>11</sup> La genèse de « crues mortelles » est due à la forte variation spatio-temporelle du régime des précipitations du climat méditerranéen – ces crues mortelles se retrouvent aussi bien sur la face nord méditerranéenne (Catastrophe de Nîmes ; Desbordes et al. 1989) que sur la façade Sud. Les crues qui ont touché l'Algérie en Novembre 2001 étaient particulièrement meurtrières avec 751 victimes (Agoumi 2003 : 3). Ce phénomène torrentiel caractérise le climat méditerranéen et n'ont a priori au niveau climatique de l'échelle historique rien d'exceptionnel. Ils sont même tellement fréquents qu'ils sont entrés dans langage courant français sous les noms de « gardonade, vidourlade, ... » et, dans le langage scientifique, comme « phénomène cévenol ». Malheureusement pour le Maghreb, les études historiques climatologiques sérieuses analysant ce phénomène manquent. Il est sérieusement à craindre qu'avec la dynamique atmosphérique croissante – qui est une des principales conséquences du réchauffement (augmentation de la teneur de vapeur d'eau atmosphérique) – ce phénomène de « crues » va avoir tendance à s'accroître.

<sup>12</sup> En janvier et février 2003, la moyenne et basse Medjerda fut partiellement affectée par de graves inondations (voire Section 2.3, Zones humides, ci-après).

Au surplus, l'analyse de Giannakopoulos et al. 2005 comporte de graves erreurs méthodologiques en ne reposant que sur des facteurs météorologiques et en utilisant le Canadian Fire Weather Index – sans aucune prise en considération de la «masse combustible». Donc pas de surprise si ces auteurs, dans leur Fig. 37 prévoient pour le Sahara le plus grand risque de feu de forêt – voire entre 45 et 55 semaines de risques de feu de forêts. Présentant de tels résultats, l'étude d'impact de Giannakopoulos et al. a perdu toute crédibilité scientifique.

En ce qui concerne la Tunisie, on pourrait même développer un scénario dans lequel les risques d'éclosion de grands feux augmenterait sans qu'aucun changement climatique majeur n'intervienne. De tels incendies ont déjà eu lieu au Maroc par exemple<sup>13</sup>. Tout dépend de la pression exercée (surexploitation, surpâturage) sur les écosystèmes forestiers<sup>14</sup>. Dans le Tableau II, C. Neff a développé une forme de matrice différente.

**Tableau II** – Matrice de scénarios de risque de tendance d'éclosions de feu de végétation en Tunisie (Grand nord)

Les + indiquent la tendance d'augmentation de risque de feu de forêts  
(Estimation et Graphique C. Neff Août 2005)

	Diminution de la pression sur la forêt	Augmentation de la pression humaine	Status quo de pression
Status quo climatique (régime normal méditerranéen)	++	-	+
Changements climatiques (+ 1-2) sensu WWF <sup>15</sup> et autre scénario courant	+++	+	++
Augmentation des précipitations (estimation Neff <sup>16</sup> )	++++	+	+++

Les risques d'éclosion de feu de végétation en Tunisie – et le risque de voir se former de grands incendies de type incontrôlable – est directement lié à la disponibilité de «masse combustible» sur le terrain. Les facteurs climatiques ne contrôlent guère la disponibilité de la masse combustible. La «masse combustible» est le facteur clef dépendant directement de la croissance végétale naturelle – et de l'extrait de masse combustible par l'homme – en forme de sylviculture (récolte de bois), de pâturage (surpâturage) et autres utilisations forestières comme par exemple la culture de liège etc. Les facteurs climatiques n'interviennent qu'au second plan – par exemple dans les périodes de sécheresse et de grande chaleur. Cela signifie qu'une période de sécheresse accrue avec vague de chaleur augmente l'inflammabilité de la

<sup>13</sup> Cf. Le Monde.fr (24.08.2004).

<sup>14</sup> Nous considérons comme écosystèmes forestiers ou pré-forestiers, forêt, maquis, garrigues, etc. – donc tout terrain comportant des Phanerophytes et Nanophanerophytes. Ou utilisant la définition de Zaafouri & Chaibeb 1999, tous systèmes comportent arbres et arbustes.

<sup>15</sup> Etude WWF, Giannakopoulos et al. 2005

<sup>16</sup> Cette estimation de Neff repose entre autres sur la carte des prévisions des précipitations en Afrique publiée dans Hulme et al. (2001). Cette carte de Hulme semble converger avec les observations de Lejot & Callot (2005 : 175) qui décrivent une évolution du climat dans le Sahel avec des moussons plus pluvieuses. Notons que déjà Frankenberg (1981 :141) prévoyait une augmentation des précipitations en Tunisie – qu'il considérait, d'une part, comme une chance pour l'agriculture tunisienne mais, d'autre part, comme une augmentation considérable des risques d'érosion des sols.

masse combustible – et naturellement le risque d’incendie. Mais sans «masse combustible», même avec augmentation de la sécheresse et de chaleur, le risque d’incendie est zéro. Les zones désertiques et pré-désertiques ne connaissent pas de feu de forêt parce que la forêt (= masse combustible) est absente<sup>17</sup>.

En contrepartie, une augmentation des précipitations dans le grand nord de la Tunisie (ce scénario est développé dans la matrice des scénarios en *lettres italiques*), sous le régime de pression actuelle, pourrait (augmentation de la croissance végétale = croissance du stock de masse combustible.) considérablement augmenter le risque de feu de forêt.

Pour tout développement de scénarios, il est donc impérativement nécessaire de disposer de scénarios d’anticipation du développement des divers pressions humaines (anthropozoogènes) directes et indirectes qui influencent le comportement des systèmes forestiers et pré-forestiers. Avec de tels scénarios, il est possible, en utilisant de modèle de simulation de la dynamique végétale MEDGROW<sup>18</sup> (ou similaire), de construire des scénarios régionaux précis de la réaction des écosystèmes aux divers changements climatiques. Avant de passer au stade du développement de la réaction régionale de divers écosystèmes – l’auteur insiste – il faut disposer de projections de la quantité et la qualité des pressions humaines sur le système analysé.

Pour le grand nord tunisien, on peut déjà conclure grosso modo à deux grands types d’impacts qui se profilent :

- Diminution des pressions anthropozoogènes = augmentation du risque de feu de forêt.
- Augmentation des pressions anthropozoogènes = diminution des risques de feux de forêt, mais augmentation des risques d’érosions.

#### **D) Premières orientations de stratégies d’adaptation**

C. Neff pense que, indépendamment de la question de savoir si l’augmentation du risque d’incendies est directement liée aux changements climatiques ou aux changements des régimes des pressions ou un cross over des deux facteurs – les risques de feu de végétations en Tunisie pourrait considérablement augmenter dans les prochaines décennies. Actuellement il n’existe aucun document exact et fiable sur le stock et l’évolution récente de la «masse combustible» en Tunisie<sup>19</sup>. Cependant, en se référant à Mouillot et al. (2005) postulant pour les écosystèmes sud de la Méditerranée un chiffre de progression de 0,89 % de la surface forestière<sup>20</sup> – la prévision d’une progression considérable des risques d’éclosion d’incendies semble posséder un très grand degré de confiance.

Au niveau strictement écologique, les feux de végétation dans les écosystèmes méditerranéens ne posent pas de problèmes écologiques – la plus grande partie des recherches

---

<sup>17</sup> C’est la raison pour laquelle nous considérons les prévisions de Giannakopoulos et al. 2005 – qui anticipe une forte augmentation de risques de feu de forêt dans le Sahara – comme scientifiquement aberrantes.

<sup>18</sup> MEDGROW est un modèle de simulation développé par Neff (2000). Il permet de simuler diverses perturbations (feu, sylviculture & extraction de bois, pâturage, calamités forestiers) sur la dynamique et croissance végétale des écosystèmes méditerranéens sous climat donné (climat stable, augmentation de la température / précipitations etc.). Naturellement il faudrait adapter certains modules au Maghreb. Pour les espèces, MEDGROW possède une «Growth response function = GWF» : *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Cistus monspeliensis*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Olea oleaster*, *Acacia dealbata*. Pour adapter MEDGROW à la Tunisie il faudrait compléter les GWF pour les espèces manquantes comme par exemple pour *Pinus pinaster* et peut être recalibrer les anciennes GWF.

<sup>19</sup> Une telle analyse pourraient se faire relativement facilement par télédétection.

<sup>20</sup> En réalité Mouillot et al. (2005) résumant différents chiffres de la progression forestière méditerranéenne de diverses autres publications scientifiques.

scientifiques écologiques sérieuses convergent sur ce point<sup>21</sup>, même si le grand public (et la presse) semblent ignorer cette donnée.

Louis Trabaud, le doyen de la recherche de l'écologie du feu des paysages méditerranéens a écrit récemment : « Les recherches effectuées ces trente dernières années montrent que les systèmes écologiques méditerranéens parcourus par les incendies résistent bien au feu. Il n'y a aucune modification profonde des communautés actuellement en place, celles-ci tendent vers une structure et une composition spécifique semblables à celles d'origine » (Trabaud 2004 62).

Mais si on s'éloigne du point de vue strictement scientifique, il semble pertinent que les écosystèmes ou paysages parcourus par le feu dans la plupart des cas ne peuvent plus remplir les services que les sociétés attend d'eux<sup>22</sup> (societal demand) – comme par exemple les fonctions esthétique et récréatrice (verdure et beauté du paysage, tourisme), fonctionnelle (stock hydraulique, protection contre l'érosion ou glissement de terrain) ou même productive (ressources forestiers, bois de construction, bois de chauffage, biocarburants etc.).

Dans cette perspective, il paraît important de donner au moins quelques «impulsions» pour des stratégies d'adaptation<sup>23</sup>.

- Analyse précise des risques (incluant la régionalisation).
- Gestion de la pression sylvo-agro-pastorale.
- Choix des essences / forêt tolérante au feu.
- „Green gold“/biofuel<sup>24</sup> /valeur économique.
- Fire management (dont feux contrôlés).
- Achats et gestion commune (Etats Maghreb) de Canadair<sup>25</sup>.

Ces six points pourraient constituer un premier axe de réflexion pour une stratégie d'adaptation liée au risque croissant de risques d'incendies<sup>26</sup>.

Il semble également être important d'agir sur la valeur économique de écosystèmes forestiers et preforestiers<sup>27</sup>. Comme cela a été précisé à l'occasion d'interviews<sup>28</sup> donnés au

---

<sup>21</sup> Pour avoir plus de références sur ce point voir la bibliographie publiée par Neff 2001A qui contient un chapitre feu.

<sup>22</sup> Plus de discussions et détails cf. Neff 2001B.

<sup>23</sup> Ces impulsions de stratégies d'adaptation face aux risques grandissant d'incendies a été présentée lors du deuxième Atelier de Sidi Bou Said en Septembre 2005.

<sup>24</sup> Biofuel = terme anglais pour le biocarburant.

<sup>25</sup> La gestion commune des bombardiers d'eau amphibiens de type Canadair au niveau européen ne fonctionne guère – l'exemple portugais (saisons d'incendies de 2003 et 2005 au Portugal) est assez hallucinant. Par exemple, vu le risque accru d'incendies (changements de paysages, accumulation de masse combustible (pour ceci Conedera 2003), en Suisse (estimations auteur), surtout en Valais (chiffres historiques d'incendies pour le Valais dans Gimmi et al 2004), au Tessin (chiffres historiques d'incendies pour le Tessin dans Conedera & Pezzati 2005), aux Grisons, l'auteur pense qu'une gestion de Canadair commune entre la France et la Suisse et peut-être même avec l'Italie semble constituer une option faisable pour gérer ce risque grandissant dans l'avenir proche. En ce qui concerne l'Afrique du Nord, il y a plus de scepticisme. Il faudrait beaucoup d'imagination pour voir un tel pool d'avions anti-incendie géré en commun par les trois pays du Maghreb (Maroc, Tunisie, Algérie). Ajoutons que la professionnalisation des pompiers dans le Tessin, surtout l'emploi systématique de l'hélicoptère, a diminué considérablement la surface brûlée dans ce canton suisse (Conedera et al. 2004). Un fait qui mérite d'être pris en considération pour le développement de futures stratégies d'adaptation en Tunisie – mais aussi au Portugal.

<sup>26</sup> Une analyse-cible des risques d'incendies potentiellement liés aux changements climatiques et changements de paysages globaux en Tunisie pourrait avoir comme modèle l'étude de Conedera (2003) sur les risques de feux de forêt liés aux changements climatiques en Suisse. Une telle analyse cible pourrait être une base solide pour le développement de la stratégie d'adaptation de la Tunisie face au danger grandissant des incendies.

<sup>27</sup> Maquis, Garrigues, terrains agricoles à l'abandon, broussailles, friches.

cours de l'été 2005 lorsque sévissait les grands incendies au Portugal, une forêt qui a une valeur économique est mieux gérée<sup>29</sup> et est donc moins vulnérable au risque d'incendie. Ceci est valable au Portugal, en France et dans beaucoup d'autres pays riverains de la Méditerranée – ce l'est également en Tunisie. L'application de l'analyse de Costanza et al. (1997) sur la valeur des services et capitaux des écosystèmes semble être une approche intéressante mais, pour des problèmes méthodiques et techniques, pas encore applicable aux écosystèmes tunisiens. C. Neff pense qu'en traduisant le potentiel de «biocarburant<sup>30</sup>» stocké dans les écosystèmes forestiers tunisiens, on pourrait peut-être donner la mesure de premiers chiffres. Ceci est valable pour les écosystèmes humides, arides, insulaire etc. Cette démarche analytique n'est donc pas seulement valable pour les écosystèmes qui risquent de subir un risque grandissant d'incendies – mais pour tous les écosystèmes tunisiens. Ainsi en donnant une valeur économique à la forêt de Cyprès de Maktar, on pourrait stopper la dégradation de ce écosystème unique en Tunisie et préserver les services<sup>31</sup> des écosystèmes pour des générations futures.

### **E) Développement du Scénario d'impact régional – quelle voie suivre ?**

Pour analyser plus rigoureusement les réelles retombées écologiques d'un changement climatique au niveau des différentes régions naturelles et agro-écosystèmes, C. Neff suggère de suivre les pistes suivantes.

#### *Etude d'impact du «grand nord tunisien»*

Ayant identifié le grand nord comme un des systèmes clefs pour la Tunisie :

Simulation régionale de scénario pour chaque type d'écosystème du grand nord (exemple Forêt de *Quercus canariensis*, Système préforestier dominé par *Pinus halepensis* etc.) avec MEDGROW ou autre outil de simulation de la dynamique végétale méditerranéenne en y incluant d'un part le changement du climat, mais aussi les différentes pressions humaines anticipées.

Ces scénarios de simulation régionale devraient être accompagnés d'études de cas multidisciplinaires – comme par exemple l'étude de Meurer (1993) sur les conséquences du surpâturage dans le massif de MOGOD.

#### *Etude d'impact sur le rendement agricole des agro écosystèmes tunisiens*

Pour l'analyse de l'impact du changement climatique sous les rendements des principaux produits agricoles tunisiens, il est urgent d'établir un premier diagnostic. Les résultats donnés par Giannakopoulos et al. (2005) ne sont pas satisfaisants – le problème est que vu la faiblesse de « grids<sup>32</sup> » disponibles pour la Tunisie pour le downscaling, des résultats de GCM et le couplage de modèles de simulation des rendements agricoles – d'autres pistes sont à suivre. On peut préconiser par analogie l'analyse geo-climato-historique en utilisant des

---

<sup>28</sup> Voir par exemple Budde (2005) : Mehr Landflucht, mehr Feuer. Rheinischer Merkur. 1. September 2005 et Kehse (2005) : Flammen gegen Feuer. Financial Times Deutschland 24.08.2005.

<sup>29</sup> Sensu la notion de « forêt tolérante » de Pierre Rutton (1993).

<sup>30</sup> L'utilisation de biocarburant devient industriellement intéressante à partir d'une fourchette de prix entre 65 – 100 le barril de brut (Le Monde 30.08.2005).

<sup>31</sup> Un service potentiel de la forêt de Maktar pourrait être l'apport de *Cupressus sempervirens var. numidica* au niveau génétique. Espèce endémique du Cyprès méditerranéen, il conserve aussi une « richesse génétique » unique – qui par exemple pourrait devenir potentiellement une réserve de molécules pour l'industrie pharmaceutique. Si l'espèce disparaît – la réserve génétique et moléculaire disparaît aussi – et l'humanité a peut-être perdu à jamais un « médicament potentiel ».

<sup>32</sup> grid = terme anglo-saxon de climatologie = maillage géographique.

méthodes géostatistiques<sup>33</sup>. En se basant sur les travaux de Anhuf (1989), qui a corrélé le rendement agricole historique (Olives (*Olea europea*), blés (*Triticum aestivum* et *Triticum durum*) ainsi que l'orge (*Hordeum vulgare*)) et les variations climatiques en Tunisie, on pourrait très bien obtenir des estimations régionales (au niveau des régions agricoles tunisiennes ou en utilisant le Schéma MCPO) de l'impact du changement de climat sur les rendements agricoles futurs<sup>34</sup>.

Ces démarches – modélisation des impacts au niveau de systèmes forestiers et pré-forestiers par construction de scénarios d'impact pour le grand nord ; utilisation de la géostatistique pour avoir une première approche des rendements agricoles dans les différentes régions agricoles tunisiennes – doivent absolument être accompagnées d'études d'impact interdisciplinaires régionales et même locale pour bien cibler l'évolution des diverses pressions humaines sur le système environnemental. Il est primordial de savoir comment ces pressions évoluent au niveau régional et même local pour bien cerner les réactions de divers écosystèmes au couplage de pressions climatiques globales (global warming) et des pressions humaines (global environmental change).

Au niveau régional, une telle étude pourrait analyser le proche avenir de dernières populations de *Quercus afarensis* en Tunisie – ou par exemple la réaction de la Tetracline (*Tetraclinis articulata*) tunisienne aux diverses pressions humaines et climatiques. Une autre étude de cas pourrait être une analyse régionale fine de la Medjerda (cf. Section 2.2, Zones humides, plus bas).

Ces études régionales devraient être enrichies par des études au niveau purement local. Par exemple est-ce que l'avenir de l'écosystème des Cyprès (*Cupressus sempervirens var. numidica*) de Maktar est mis en danger par les diverses futures pressions humaines et climatiques – et quelles pourraient être les mesures pour sauver ce peuplement ?

Donc la simulation régionale, l'analyse géostatistique et l'étude de cas environnementaux interdisciplinaires régionaux et locaux peuvent donner une première estimation des impacts d'un changement climatique pour la Tunisie au niveau national, régional, au niveau des agro-écosystèmes et des régions naturelles – études locales suivant des spécifications particulières, mais qui pourraient entraîner des conséquences globales (conséquences de la disparition de la forêt de Cyprès de Maktar pour la biodiversité globale).

## Conclusions générales

1. Les experts estiment que les écosystèmes tunisiens ont une grande capacité de résilience en vers les changements climatiques (variations spatio-temporelles). La question clef est de savoir à quel point le changement climatique peut changer la donnée des pressions humaines sur l'environnement :

- diminution?
- stabilisation?
- augmentation?

2. Les experts ont développé un schéma appelé MCPO de hiérarchisation de vulnérabilité des agro-écosystèmes tunisiens envers le changement climatique. Dans ce schéma les experts ont identifié «les Plaines centrales et sud» suivant une analyse classique

---

<sup>33</sup> Le choix des méthodes statistiques ne veut pas dire que les méthodes de downscaling des GCM (Global circulation models) ne sont pas suivies, mais que, vu le problème du faible maillage géographique des cellules de modélisation, une estimation de rendements agricoles futurs au niveau des régions agricoles tunisiennes semble méthodologiquement difficile à établir.

<sup>34</sup> Naturellement une telle analyse devrait aussi prendre en compte les travaux récents dans ce domaine, comme par exemple l'analyse de Slama et al. (2005).

traditionnelle désertification comme les agro-écosystèmes les plus fragiles et les plus vulnérables aux changements climatiques et globaux. Suivant une analyse « changement climatique » au niveau fonctionnel écologique, ce sont les régions du Nord (Kroumirie-Mogod, Nord-Est cap Bon et Dorsale et Tell<sup>35</sup>) qui semblent être les régions les plus vulnérables face aux changements climatiques.

3. C. Neff montre, à partir des scénarios de risque de feux de forêt, comment la double pression (changement climatique, pressions humaines) peut affecter globalement le Grand Nord. Le risque de feu de forêt peut accroître considérablement sans qu'elle soit pour autant liée directement aux changements climatiques. Le risque de feu de forêt dépend du stock de masse combustible in situ. Régimes des pressions humaines sur les systèmes forestiers et pré-forestiers et risques de feu sont fortement corrélés. Un changement des pressions humaines sur les systèmes forestiers peut fortement augmenter le risque de feu – ou fortement diminuer le risque de feu – indépendamment des tendances climatiques.

4. C. Neff suggère une analyse croisée de simulation régionale (MEDGROW), analyse géostatistique des rendements agricoles et études de cas interdisciplinaires régionaux et locaux pour avoir une première estimation des impacts d'un changement climatique pour la Tunisie au niveau national, régional et au niveau des agro-écosystèmes et des régions naturelles – locaux afin de prendre en compte certaines spécificités.

5. *Modo grosso*, sans pouvoir se rallier à des scénarios de simulation précis, il est possible de distinguer quatre types de réactions environnementales face aux changements climatiques en Tunisie :

- Augmentation des variations spatio-temporelles des récoltes agricoles.
- Augmentation des polluants biologiques (c.f Néophytes *Solanum elaeagnifolium*).
- Augmentation de la dynamique des feux de végétation/incendies (croissance vs. diminution)

Il existe également un risque accru que les derniers restes de végétation endémique (par exemple, la forêt de Cyprès de Maktar<sup>36</sup>) disparaissent et affectent la richesse biologique locale, régionale, nationale et globale (perte de biodiversité globale).

## Références

### a. ) Littérature Scientifique & rapport scientifique

- AGOUMI, A. (2003): *Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques. Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour la mise en oeuvre*. International Institut for Sustainable Development, Manitoba.
- ANHUF, D. (1989): *Klima und Ernteertrag - eine statistische Analyse an ausgewählten Beispielen nord - und südsaharischer Trockenräume - Senegal, Sudan, Tunesien*. Bonner Geographische Arbeiten 77 Fred Dümmers Verlag, Bonn
- BEN BOUBAKER, H., BENZARTI, Z., HENIA, L. (2003): Les ressources en eau de la Tunisie: contraintes du climat et pression anthropique. In: ARNOULD, P., HOTYAT, M. (Eds): *Eau et environnement. Tunisie et milieux méditerranéens*. ENS Editions, Lyon 37-52
- BENHOUBOU, S., BOUCHENEB, N., ADAMOUCHE, I. Y. (2005): Le cyprès du Tassili: caractérisation floristique et écologique. *Sécheresse, Science et Changements planétaires* **16** (1) 61-66
- BLONDEL, J., ARONSON, J. (1999): *Biology and Wildlife of the Mediterranean region*, Oxford University Press, New York
- CHERIF, A. (2003): Le problème de l'eau en Tunisie nord - orientale: besoins, ressources locales et transferts inter-régionaux. In: ARNOULD, P., HOTYAT, M. (Eds): *Eau et environnement. Tunisie et milieux méditerranéens*. ENS Editions, Lyon 53-61.

<sup>35</sup> Utilisant les Zones Socio- Agro-Economiques définies par Souissi (2000 : 23).

<sup>36</sup> Forêt constituée de *Cupressus sempervirens var. numidica*.

- CONEDERA, M. (2003): Waldbrände. IN: ORGAN CONSULTATIF SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (EDS) : *Extremereignisse und Klimaänderung*. OcCC, Bern, 57 – 60.
- CONEDERA, M., CORTI, G., PICCINI, P., RYSER, D., GUERINI, F., CESCHI, I. (2004): La gestione degli incendi boschivi in Canton Ticino. In: *Schweiz. Z. Forstwes.*, 155,7, 263 – 277.
- CONEDERA, M., PEZZATI, G.B. (2005): Gli incendi di bosco: cosa ci dice la statistica. In: *Dati statistiche e società, Trimestrale dell' Ufficio di statistica del Cantone Ticino*, 6- 13.
- CONSTANZA, R., D' ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature*, Vol. 387, 253 – 260.
- DESBORDES, M., DUREPAIRE, P., GILLY, J.C.L., MASSON, J.M., MAURIN, Y. (1989) : 3 Octobre 1988. Inondations sur Nîmes et sa région. Manifestation, Cause et Conséquences. C. Lacour Editeur, Nîmes, 96pp
- FRANKENBERG, P. (1981) : *Tunesien. Ein Entwicklungsland im maghrebinischen Orient*. 2 korrigierte Auflage. Klett Verlag, Stuttgart 172.
- GIANNAKOPOULOS, C., BINDI, M., MORIONDO, M. LESAGER, T., TIN, T. (2005): *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2oC global temperature rise. A report for WWF 1 July 2005*. WWF Switzerland. Gland.
- GIMMI, U., BÜRGI, M., WOHLGEMUTH, T. (2004): Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert. In : *Schweizer Zeit. für Forstwesen*, 155, 437 – 440.
- GRENON, M., BATISSE, M. (1991): *Futures for the Mediterranean Basin. The Blue Plan. (reprint)*, Oxford University Press, Oxford
- GROVE, A.T., RACKHAM, O. (2001): *The Nature of Mediterranean Europe. An Ecological History*, Yale University Press, New Haven
- HULME, M., DOHERTY, R.M., NGARA, T., NEW, M.G., LISTER, D. (2001): African climate change: 1900-2100. *Climate Research* 17: 145-168.
- KASSAB, A., SETHOM, H. (1980): *Géographie de la Tunisie. Le pays et les hommes*, Publications de l' Université de Tunis, Tunis, 278pp
- LEJOT & CALLOT (2005): L'Homme et l'eau à Aleg (Mauritanie): de la pénurie à l'excès. *Sécheresse, Science et Changements planétaires* 16 (3) 175- 81.
- MAINGUET, M. (2003): *Les Pays secs. Environnement et développement*. Ellipses Editions, Paris, 160 pp.
- MEKKI, M. (2006): Potential threat of *Solanum elaeagnifolium* to the Tunesian fields. In: Brunel, S. (Ed.): *Invasive plants in Mediterranean Type Regions of the World. Plantes envahissantes dans les régions méditerranéennes du monde. Proceedings of the international Workshop. Actes de l' atelier de travail international. Méze, France, 25- 27 May 2005*, Montpellier (in Press/en editions), 165- 170.
- MEURER, M. (1993): *Geo - und weideökologische Untersuchungen im Mogod - Bergland Nordwest-Tunesiens unter besonderer Berücksichtigung der kleinbäuerlichen Ziegenhaltung*. Erdwissenschaftliche Forschung im Auftrag der Kommission für Erdwissenschaftliche Forschung der Akademie der Wissenschaft und Literatur Mainz XXIX , Franz Steiner Verlag, Stuttgart
- MOUILLOT, F., RATTE, J.P., JOFFRE, R., MOUILLOT, D., RAMBAL, S. (2005) : Long term forest dynamic after land abandonment in a fire prone Mediterranean landscape (central Corsica, France). In: *Landscape Ecology*, 20, 101- 112.
- NEFF, C. (2000A): *MEDGROW - Vegetationsdynamik und Kulturlandschaftswandel im Mittelmeerraum*, Mannheimer Geographische Arbeiten 52, Mannheim
- NEFF, C. (2001): A First Bibliography of Modelling Climate Impacts on Mediterranean Type Ecosystems (MTE) at the Landscape Level, *Geoöko* V. XXII/2-3 193-217.
- NEFF, C. (2001B): DER REZENTE LANDSCHAFTSWANDEL IM WESTLICHEN MEDITERRAN RAUM - HERAUSFORDERUNGEN FÜR NATUR UND LANDSCHAFTSSCHUTZ – BEISPIELE AUS DEN GEBIRGSREGIONEN DES MEDITERRANEN SÜDFRANKREICH. IN: PETERMANN'S GEOGRAPHISCHE MITTEILUNGEN, 145/1, 72-83.
- NEFF, C., FRANKENBERG, P. (1995): Zur Vegetationsdynamik im mediterranen Südfrankreich. Internationaler Forschungsstand und erste Skizze zur Vegetationsdynamik im Raum Nîmes, *Erdkunde, Archiv für wissenschaftliche Geographie* 49(3) 232-244
- QUAMEN, D., STEINMETZ, G. (2005): Africa - tracing the human Footprint. National Geographic, September 2005 2- 35
- QUEZEL, P., MEDAIL, F. (2003): *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier France, Paris
- RUTTEN, P. (1993): *Propositions pour la Garrigue : plaidoyer pour une forêt tolérante au feu*. Groupement Gardois pour le Développement Forestier de la Garrigue, Robiac-Rochessadoule 93pp.
- TARRIER, M.R., BENZYANE, M.(2003): L' arganeraie marocaine se meurt: problématique et bio-indication. *Sécheresse, Science et Changements planétaires* 14(1) 60-62<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Une version longue de l'article se trouve sur le site électronique de la revue Sécheresse.

- TRABAUD, L (2004) : *La réponse de la végétation aux incendies*. In : GARRONE, B. (Eds) : *Le feu dans la nature – mythes et réalité*. Editions Les Ecologistes de l' Euzière, Prades le Lez, 51 – 70.
- TREYER, S. (2005): *L' adaptation sur le long terme à la limitation des ressources en eau. Une prospective par scénarios pour la région de Sfax, en Tunisie*. In: Mermet, L. (Eds): *Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales*. EcoPolis 5, P.I.E. - Peter Lang, 325-341, Bruxelles
- SLAMA, A., BEN SALEM, M., BEN NACEUR, M., EZZIDDINE, Z. (2005): Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanisme de résistance. In : *Sécheresse, Science et Changements planétaires*, 16(3) 225- 229.
- SOUISSI, A (2000): *Tunisie, enjeux et politiques d' environnement et de developpement durable*. Plan Bleu, Centre d' activités régionales Sophia Antipolis.
- ZAAFOURI, M.S., CHAIBEB, M. (1999): Arbres et arbustes de la Tunisie méridionale menacés de disparition. *Acta Botanica Gallica*, **140(4)**, 561 –575

**b. autres sources (Journaux etc.)**

- BUDDE, J (2005) : Mehr Landflucht, mehr Feuer. Rheinischer Merkur. 1. September 2005
- EL HAMROUNI, A., ZEDDAM, A. (2005): Les écosystèmes tunisiens. Resumée de l'Exposé de A. El Hamrouni établi par Abbida Zeddami. (dans les annexes).
- LE MONDE.FR (24.08.2004): Importants incendies de forêt dans le nord du Maroc. Le Monde.fr.
- LE MONDE (30.8.2005): „a 65 dollar le barril, certains biocarburants sont compétitifs » Interview avec Michèle Papalardo, présidente de l'agence de l' environnement et de la maîtrise de l'énergie. 30.08.2005
- KEHSE, U. (2005) : Flammen gegen Feuer. Financial Times Deutschland 24.08.2005