Canicules et vagues de chaleur: adaptations, effets directs et indirects sur la végétation et les écosystèmes

Ahmed AÏDOUD[1] & Abdelkader AÏNOUCHE[2]

1 Chercheur associé, CRSTRA-Biskra

2 Univ. Rennes 1 / UMR Ecobio CNRS

Résumé

Les végétaux souffrent également de la canicule et des fortes chaleurs en général. La fréquence plus élevée actuellement des canicules est un des résultats et indicateurs du changement climatique mondial. Les fortes températures, sous climat méditerranéen en particulier sont synonymes de sécheresses avec toutes les conséquences souvent négatives et spectaculaires sur les écosystèmes. Un grand nombre de plantes ou communautés de plantes a pu s'accommoder ou s'adapter aux conditions engendrées par les fortes températures; ceci grâce à diverses caractéristiques qui se traduisent par une distribution spatiale, une morphologie, une anatomie, une physiologie et un potentiel génétique leur permettant de résister, d'éviter ou d'éluder ces conditions. Cependant, la rapidité actuelle des changements à la fois climatiques et d'usage des terres et des ressources naturelles réduit considérablement la capacité des plantes à y faire face. Connaître le comportement et les réponses de la végétation aux fortes températures et à la sécheresse permet de mesurer les risques écologiques potentiels, et d'anticiper sur les stratégies à développer à moyen et long termes pour les éviter ou au moins les réduire.

Repeated heat waves and climate change in the Mediterranean region

Abstract

The plants also suffer from the heat wave and the heat in general. The current high frequency of heat waves is one of the results and indicators of global climate change. High temperatures, especially in the Mediterranean climate, are synonymous with droughts with all the often negative and dramatic consequences on ecosystems. A large number of plants or communities of plants were able to adapt the conditions caused by the high temperatures; Thanks to a variety of characteristics that translate into spatial distribution, morphology, anatomy, physiology and genetic potential to resist, avoid or bypass these conditions. However, the current speed changes of climate, land and natural resource use which reduces significantly the ability of plants to cope. Knowing the behavior and responses of vegetation at high temperatures and drought makes it possible to measure potential ecological risks and to anticipate the strategies to develop medium and long terms to avoid or at least reduce them.

Auteur correspondant

Ahmed AÏDOUD
Chercheur associé, CRSTRA-Biskra

INTRODUCTION

Il est quasiment certain que, dans la plupart des régions continentales, les extrêmes chauds seront plus nombreux aux échelles quotidienne et saisonnière, à mesure que la température moyenne du globe augmentera. Il est très probable que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps (GIEC, 2007 ; 2013). La tendance serait plus contrastée en Afrique du Nord (GIEC, 2007). Les projections climatiques dans la région méditerranéenne pour le 21e siècle montrent que la température annuelle moyenne afficherait une hausse plus marquée que la moyenne planétaire. Ainsi, à la fin du siècle, l'augmentation de la moyenne annuelle des températures devrait se situer entre 2,2 °C et 5,1 °C pour la période 2080 – 2099 par rapport à la période 1980 – 1999 (GIEC, 2007). Le réchauffement le plus fort se situerait en été.

Une canicule est tout d'abord un évènement météorologique extrême et dont la fréquence, de plus en plus élevée, est considérée comme un des indicateurs de changements climatiques. Nous insisterons un peu plus sur le milieu aride dans cet exposé. Les effets sont directs y compris sur la végétation (fig.1) mais également indirects avec la sécheresse et ses retombées ou conséquences sur les écosystèmes.

Nous sommes, en Algérie, naturellement sous climat méditerranén où par définition chaleur rime avec sécheresse. La période estivale sèche et chaude est une caractéristique de ce climat (fig. 2). La période sèche est plus ou moins longue selon l'aridité qui peut être exprimée par la pluviométrie moyenne annuelle : Laghouat (170mm), El Kheiter (200mm) et Saïda (430mm). Le mot canicule est né en Méditerranée. De l'italien canicula, il est apparu vers 1500 et signifie petite chienne (du latin canis). C'est Sirius qui porte ce nom, l'étoile la plus brillante de la constellation du Grand Chien. Sirius se lève et se couche avec le soleil du 22 juillet au 22 août.

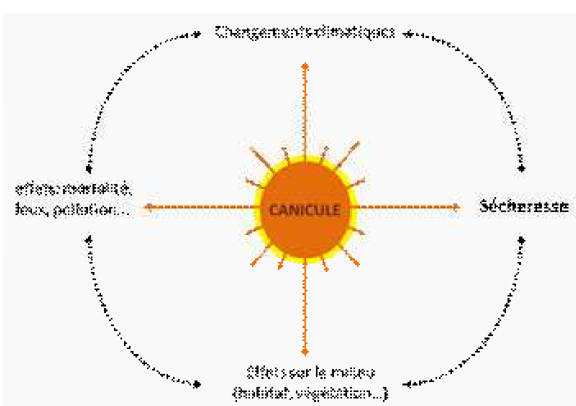

Figure 1- Effets directs et indirects des canicules.

Parler de canicule et de végétation et surtout sous climat aride n'est pas évident a priori. La canicule est un événement caractérisé par un blocage de l'anticyclone et une élévation anormale de la température. En France, météo-France définit la canicule comme un épisode de températures élevées, de jour comme de nuit, sur une période prolongée.

La vigilance météorologique vis-à-vis de la canicule, afin de corriger les carences observées durant la canicule de 2003 en France, s'oriente essentiellement vers un dispositif d'information sur les phénomènes dangereux pour l'homme. Il est tenu compte du caractère exceptionnel des températures nocturnes qui, lorsqu'elles sont élevées pendant plusieurs jours consécutifs, le risque de mortalité peut augmenter chez les personnes fragiles. Bien que la végétation soit très peu considérée par le phénomène canicule en tant que risque proprement dit, de nombreux travaux de recherche ont cependant traité des effets des élévations de températures sur les plantes et la

végétation utilisée comme indicateur. Ainsi, La dendrochronologie du

Mélèze (Larix griffithiana) dans le Nord-Est de l'Inde (fig.3) a permis de reconstruire l'évolution de la température estivale moyenne depuis 1852 et montre un réchauffement depuis les années 1930, avec 1996-2005 comme période la plus chaude sur les 150 dernières années.

1- ADAPTATION AUX TEMPERATURES ELEVEES

Si la fréquence des canicules augmente, les organismes vivants, de façon générale, doivent s'y adapter. L'homme l'a fait, mais il l'est plus dans les milieux qui, habituellement sont confrontés à des canicules ou à des vagues de chaleurs. Ainsi, dans le Midi de la France lors de la canicule de 2003, moins de mortalité parmi les personnes âgées a été enregistrée que dans le reste de la France où ces personnes n'y étaient pas habituées et donc moins adaptées. Chez les animaux on remarque également que les espèces autochtones sont souvent mieux adaptées que celles introduites. Dans les steppes de Mongolie (M'Ahmed & El Amin, 1997), les effets des hautes températures estivales ont été mesurés sur la physiologie et la production des bovins: la température du corps et la respiration sont corrélées positivement à la température ambiante mais la production de lait y est corrélée négativement

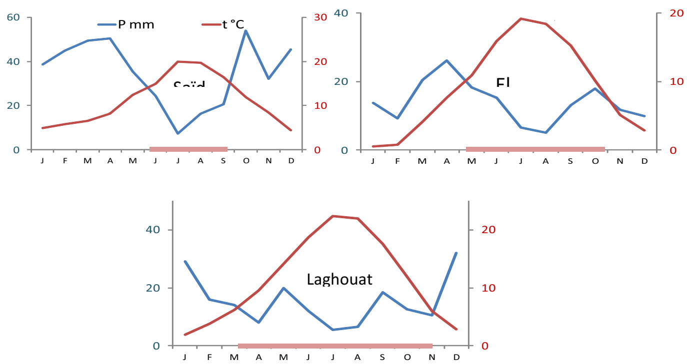

Figure 2- Diagrammes ombro-thermiques montrant la durée de la période sèche (trait plein rouge) dans une année moyenne.

Cependant les effets observés sur la race européenne (Holstein– Friesian) introduite ont été plus significatifs que sur la race locale de zébu (Butana).

Chez les plantes, l'adaptation est encore plus nécessaire puisque ces organismes sont sessiles et ne peuvent se déplacer pour se protéger. Les plantes composant la végétation sont naturellement adaptées aux températures élevées. Citons par exemple, le phénomène El Nino durant lequel, en Australie, de grandes parties du continent australien, subissent durant des périodes longues des températures exceptionnellement élevées (Pudmenzky et al., 2015). Chez les plantes, qui transpirent abondamment, la température des feuilles peut être de 1 à 2°C inférieure à celle de l'air. Par contre, chez celles dont les stomates sont fermés à la suite d'une contrainte hydrique, cette température peut être de plusieurs degrés au-dessus de la température ambiante lorsque l'air est calme et que l'élimination de la chaleur absorbée ne se fait pas, ou peu, par convection. L'un des rôles de la transpiration est bien de refroidir les surfaces photosynthétisantes dont l'activité ne peut se faire qu'à la lumière, c'est à dire dans des conditions où un apport d'énergie peut potentiellement augmenter leur température.

Lorsque la température de l'air change de façon durable l'optimum thermique de l'assimilation chlorophyllienne (OT) change chez les plantes pérennes adaptées. Pour Hammada scoparia (=Haloxylon= Arthrophytum, dénommée remt au Maghreb), plante désertique, l'OT est de 29°C en début de printemps, de 28°C en automne et de 41 °C durant les mois les plus chauds (Berry et Björkman, 1980). Certains types de fonctionnement photosynthétiques favorisent l'adaptation (fig. 4 a). Le mode CAM des cactus, leur permet de n'ouvrir les stomates que la nuit pour capter le gaz carbonique de l'air comme source de carbone.

Outre les adaptations physiologiques, les plantes

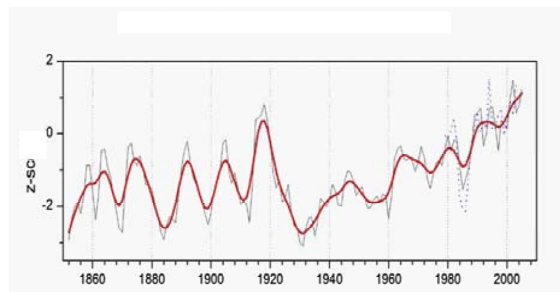

Figure 3- Dendrochronologie du Mélèze (Larix griffithiana) dans le Nord-Est de l'Inde (d'après Yadava et al., 2015).

Fig. 4 a- Plantes de type photosynthétique

Fig 4b- Taille variable des feuilles: d'Artemisia herba-alba (Aidoud, 1989)

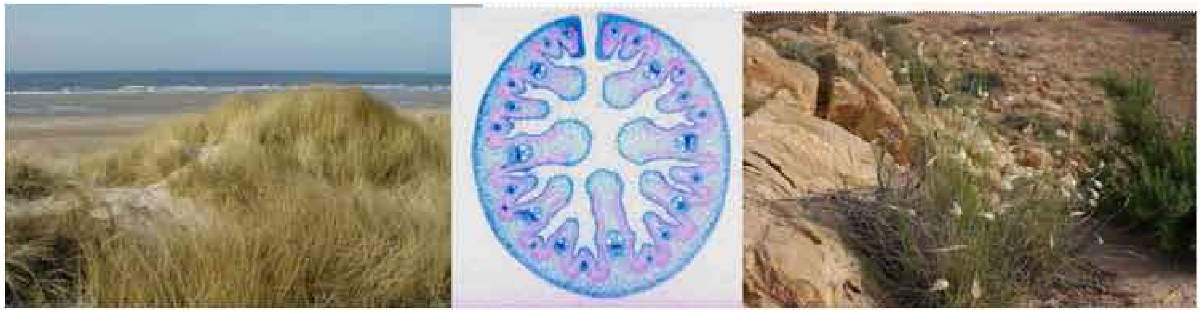

Fig 4c- Anatomie du limbe foliaire similaire chez Ammophila arenaria ou Lygeum spartum.

Fig. 5- Micropyrum tenellum:, a: sur schistes (Massif de Paimpont – Bretagne, France, 900 mm/an et b: steppe d'armoise du Sud-Oranais , Algérie (220 mm/an). Photos A. Aidoud

adoptent une morphologie et une anatomie leur permettant de lutter contre la haute température et son corollaire la sécheresse. Certaines plantes réduisent la surface transpirante représentées par les feuilles. L'armoise (Artemisia herba-alba) réduit la taille de ses feuilles à mesure que la saison chaude approche (fig. 4b) alors que Helianthemum virgatum perd toutes ses feuilles durant cette saison.

Deux espèces végétales, même vivant dans des conditions très différentes, peuvent subir une même contrainte et développer une même stratégie adaptative. C'est par exemple Lygeum spartum, (milieu steppique continental et aride) et Ammophila arenaria (dunes de bord de mer sous climat tempéré) ont développé une anatomie du limbe très proche (fig 4c) imposée par la chaleur et surtout la sécheresse qui est, dans le premier cas climatique, dans le 2ème, physiologique en raison de la salinité qui engendre au final un stress physiologique analogue à celui provoquée par la sécheresse.

Une même espèce peut se retrouver sous des climats très différents mais subissant les même contraintes de milieu. C'est le cas de Micropyrum tenellum, cette toute petite poacée (fig. 5) que nous avons recensée dans la steppe d'armoise aride (fig.5a) et pouvant subir de fortes chaleurs liées au climat régional. Elle existe également sous climat océanique (fig. 5b) dans un micro-climat formé par des schistes qui représente épisodiquement, un milieu très sec et très chaud.

L'adaptation peut être située à un niveau génétique. Par exemple, on sait aujourd'hui qu'il existe des séquences d'ADN mobile, dites éléments transposables, qui sont capables de se multiplier (pour certaines à la manière des virus) dans les génomes et provoquer des mutations qui, lorsqu'elles ne sont pas délétères, peuvent générer de la diversité génétique et contribuer à l'adaptation et la diversification des espèces, comme par exemple l'adaptation à la sécheresse et à la chaleur des radiations ultra-violettes.

Ces éléments transposables sont présents dans tous les génomes procaryotes et eucaryotes. Ils sont contrôlés au niveau cellulaire, et il a été montré qu'ils peuvent être activés (se multiplier) sous l'action de stress génomiques (ex. hybridation interspécifique) ou de stress environnementaux (ex. attaque par des champignons pathogènes, irradiation aux UV, fortes chaleurs, sécheresse du milieu).

La figure 6 illustre cet impact chez des individus d'une population d'orges sauvage dans la nature. Le nombre de copies d'éléments transposables observées augmente de façon significative dans les micro-stations les plus hautes et les plus ensoleillées (Kalendar et al., 2000).

Kalendar et ses collaborateurs ont montré que le nombre de copies observées d'éléments transposables augmente de façon significative dans les microstations (1 et 2 du versant Sud) les plus hautes et les plus exposées aux radiations et à la chaleur, conséquence d'un stress (chaleur, sécheresse et UV)

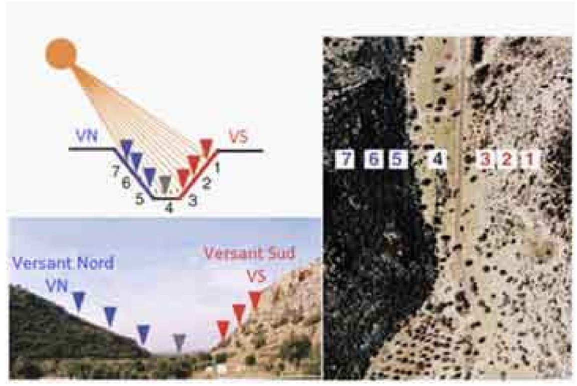

fig. 6- Présence d'une diversité génotypique liée à l'hétérogénéité d'habitat chez Hordeum spontaneum. Photos Kalendar et al.

2- EFFETS DE L'ELEVATION DE LA TEMPERATURE SUR LA VEGETATION.

La sensibilité des écosystèmes arides aux changements climatiques suggère, sur la base de modèles de prédiction et d'observations, que l'augmentation de la fréquence des périodes caniculaires et des vagues de chaleur en général, modifiera vraisemblablement la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes et s'exprimera notamment à travers la végétation (Scott et al., 2010). Le suivi des échanges de gaz d'énergie et d'eau entre la végétation et l'atmosphère sur un gradient de végétation allant de la steppe aride à la forêt tempérée en Espagne durant l'optimum de fonctionnement et les fortes chaleurs d'été. Les résultats préliminaires montrent de grandes variations et des rétroactions potentielles entre la végétation d'une part et la chimie de l'atmosphère et le climat de l'autre (Peñuelas et al.. 2013). Ainsi des effets négatifs sont observés mais également positifs parfois.

2.1. EFFETS Négatifs.

La canicule peut être mortelle pour l'homme (15000 morts dus à la canicule en 2003; 622 morts dans le Sud de l'Inde en 2002…), mais également pour la végétation et les écosystèmes. Les vagues de chaleur peuvent avoir un impact direct sur les écosystèmes, en faisant subir de fortes contraintes sur les cycles du carbone et de l'azote et en induisant la réduction de la disponibilité de l'eau, avec une conséquence potentielle sur la diminution de la production ou même de mortalité d'espèces.

Une forte mortalité des plantes ligneuses à l'échelle sous-continentale du sud-ouest de l'Amérique du Nord a été observée comme conséquence de la chaleur et la sécheresse de 2000 à 2004. Après 15 mois de baisse de la teneur en eau du sol, plus de 90% des espèces d'arbres dominants (Pinus edulis) sont morts (Breshears et al., 2005). La mortalité du pin pignon à l'échelle régionale dans le nord du Nouveau-Mexique (Rich et al., 2008). Les espèces végétales dominantes de divers types d'habitat (ripisylves, ligneux de différentes altitudes) ont subi une mortalité importante au cours de ces sécheresses ; la mortalité moyenne chez les espèces dominantes était de 3,3 à 41,4% (Gitlin et al., 2006).

Des années plus chaudes et plus fréquentes peuvent conduire à une diminution significative de l'absorption du CO2 par les écosystèmes terrestres (Arnone et al., 2008). Une réduction de 30% de la productivité primaire brute ainsi que la diminution de la respiration chez les végétaux dans les écosystèmes en Europe pendant la vague de chaleur en 2003 a entraîné une forte libération de CO2 (0,5 Pg C an-1) dans l'atmosphère et a renversé l'effet de quatre années de séquestration nette de carbone. Une telle réduction de la productivité primaire de l'Europe est sans précédent au cours du siècle écoulé (Ciais et al., 2005).

La canicule peut provoquer ou contribuer à déclencher des feux de forêt parfois dévastateurs comme en Russie en 2010 durant un été exceptionnellement chaud (Witte et al., 2011). Parmi les travaux traitant des effets négatifs, certains se basent sur de plus fortes chaleurs par exemple dues aux incendies. Dans les formations de genévrier Thurifère (Juniperus thurifera), Quintana et al. (2007) rapportent que les fortes chaleurs ont impact sur la composition minéralogique et la dynamique des cations solubles et anions dans l'horizon organique du sol. Les composants minéraux de cet horizon et les feuilles de J. thurifera ont été déterminées, et leurs transformations enregistrées lorsqu'elles sont soumises à des températures différentes dans le laboratoire. De nombreux composants issus de transformation à forte température ont été relevés comme des oxydes, des sulfates… La tendance de certains ions phosphate solubles à disparaître avec la température conduirait à la lixiviation de certains composants utiles du sol comme des nutriments ce qui conduirait à leur perte par lessivage.

Une température élevée est l'un des principaux facteurs qui empêchent la germination, grâce à un vieillissement prématuré de l'embryon. Les températures élevées dans le sol des milieux arides peuvent affecter la survie des semences et l'établissement des plantes.

2.2. EFFETS POSITIFS

Dans certains cas, la végétation peut tirer profit de la chaleur. La réaction par la germination après les traitements thermiques peut être positive : Dans le Sud du désert de Chihuahua chez Echinocactus platyacanthus et Acacia schaffneri (Pérez-Sánchez et al., 2011), dans le centre de l'Espagne chez Pinus pinaster et Cistus laurifolius (Herrero et al., 2007).

L'espèce annuelle Eruca vesicaria (en arabe Djerdjir) est connue pour sa réaction au retour de la pluie. Le Houérou (comm. orale) la surnommée le « pluviomètre ». Aidoud (1989) a observé une très forte densité de cette espèce en 1986 au retour des pluies après 3 années sèches et a émis l'hypothèse d'une réaction de l'espèce suite à un thermo-conditionnement des graines. Ce mécanisme favorisant la germination chez cette espèce a été vérifié par Villamil et al. (2002) et Moussa (2006).

3- LA VEGETATION CONTRIBUE A LUTTER CONTRE LES EFFETS DE LA CANICULE.

La végétation diminue la température par l'ombrage qu'elle crée. Le refroidissement des surfaces photosynthétisantes est l'un des rôles de la transpiration chez les plantes qui ne peut se faire qu'à la lumière et donc souvent à des températures ambiantes élevées. De nombreux travaux ont montré ce rôle de la végétation dans les milieux urbains comme Australie (Chen et al., 2014), aux Pays-bas (Gromke et al., 2015), en Italie (Salata et al, 2015). En Algérie, Bencheikh & Rchid (2012) ont mesuré les températures ambiantes dans diverses situation dans la ville de Ghardaïa (fig. 8a) et ont montré notamment que la température peut être moindre de 5 à 10°C sous les palmiers. Un travail similaire de Boukhabla & Alkama (2012) à Biskra (fig. 8b) a montré que sous les arbres, la température est moins élevée de 7°C par rapport à un trottoir mitoyen sans ombrage. Elle est encore plus basse dans le feuillage.

1- EFFETS INDIRECTS DES CANICULES ET DES VAGUES DE CHALEUR SUR LA VEGETATION ET LES ECOSYSTEMES

Une des conséquences directes d'une vague de chaleur est la sécheresse. Nul besoin de revenir sur les effets de la sécheresse sur les écosystèmes surtout arides qui, par définition, vivent naturellement avec un déficit hydrique permanent. Ces effets ont été traités dans des ateliers sur les risques majeurs précédents au CRSTRA (Aidoud, 2009 ; 2010 ; White & Drake, 2009). Rappelons en quelques-uns brièvement concernant les steppes pâturées en Algérie.

La première conséquence est la baisse de la production végétale et donc la production globale, la végétation étant la base de la chaine trophique simple plante-animal-homme. Entre une année humide et une année sèche, la production végétale nette aérienne peut baisser, dans un parcours steppique en bon état, de près de 870 à 160 kg de matière sèche par hectare alors que la pluviométrie n'a pas baissé dans les même proportions (Aidoud, 1989).

Dans la steppe en Algérie le cheptel ovin a été multiplié par 4 en 30 ans environ. Avec cette pression animale croissante, les plantes fourragères sont surconsommées et finissent par disparaitre laissant place à des plantes non appréciées par les moutons mais qui à leur tour, pour certaines plantes épineuses, seront broutées en période de forte sécheresse et donc de forte baisse de production végétale. Durant les sécheresses longues et intenses, le pâturage se maintient puisque les terres sont à usage collectif. Il devient surpâturage car il n'y a plus que des plantes pérennes qui sont présentes et l'animal prélève plus que la plante ne peut renouveler de matériel végétal et de réserves. La plante pérenne finit par dépérir et disparaitre. Lors d'années humides, ne poussent alors que des annuelles et autres éphémères qui ne jouent qu'un rôle très faible dans la protection du sol. Durant une sécheresse importante et s'il n'y a plus de couverture végétale pérenne pour protéger le sol, toutes les parties fines: limons, argiles, matière organique, microfaune et microflore sont emportés par le vent. Au retour des pluies, quand les conditions de viabilité et de germination sont encore réunies, les graines demeurées dans un sol qui a perdu une part de sa fertilité, peuvent germer de façon très dense.

CONCLUSION

En conclusion, Les canicules et les vagues de chaleur ont des effets directs sur la végétation et les écosystèmes mais également des effets indirects. La canicule est une perturbation (évènement discret, limité dans le temps) mais dont la fréquence en augmentation annoncée accentuera la contrainte (aridité) dans les écosystèmes arides. Il est difficile de lutter contre les effets directs de la canicule sur la végétation. Il s'agit d'agir pour limiter les retombées indirectes surtout le surpâturage et ses conséquences sur des écosystèmes arides déjà naturellement fragiles.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aidoud A., 1989. Les écosystèmes pâturés des Hautes-Plaines Algéro-Oranaises, Algérie. Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 240 p.+ ann.

2. Aidoud A., 2009. La desertification en tant que risque majeur. Atelier International sur les risques majeurs et les catastrophes naturelles. Stratégies de prévention et de protection. CRSTRA & Eur-Opa Risques majeurs, 17-26.

3. Aidoud A., 2010. Réponses à la sécheresse des écosystèmes steppiques arides. Atelier International sur le risque sécheresse, nov 2010, Biskra. CRSTRA & Eur-Opa Risques majeurs (présentation diapo.).

4. Arnone et al., 2008: Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year. Nature, 455, 383-386.

5. Bencheikh H. & Rchid A., 2012. The effects of green spaces (Palme trees) on the microclimate in arides zones, case study: Ghardaia, Algeria. Energy Procedia 18: 10 – 20

6. Berry J, Björkman O (1980) Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 491-543

7. Boukhabla M. & Alkama D., 2012. Impact of vegetation on thermal conditions outside,Thermal modeling of urban microclimate, Case study: the street of the republic, Biskra. Energy Procedia 18: 73 – 84

8. Breshears et al., 2005: Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. PNAS, 102(42), 15144-15148.

9. Chen et al., 2014. Urban vegetation for reducing heat related mortality. Environmental Pollution, 192: 275-284.

10. Ciais et al., 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature, 437(7058), 529-533.

11. GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat), 2007, Bilan 2007 des changements climatiques : les éléments scientifiques physiques, In : Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB et al., eds. 4ème Rapport d'évaluation du GIEC, Cambridge : Cambridge University Press.

12. GIEC, 2013. Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, Cambridge : Cambridge University Press.

13. Gitlin et al., 2006: Mortality gradients within and among dominant plant populations as barometers of ecosystem change during extreme drought. Conservation Biology, 20(5), 1477-1486.

14. Gromke et al., 2015. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. Building and Environment, 83: 11-26.

15. Kalendar et al., 2000. Genome evolution of wild barley (Hordeum spontaneum) by BARE-1 retrotransposon dynamics in response to sharp microclimatic divergence PNAS, 97: 6603–6607

16. M'Ahmed M.M., El Amin A.I., 1997. Journal of Arid Environments, 35: 737-746

17. Moussa H.R. (2006). Journal of New Seeds, 8: 91-100

18. Peñuelas J. et al.. 2013. Intensive measurements of gas, water, and energy exchange between vegetation and troposphere during the MONTES campaign in a vegetation gradient from short semi-desertic shrublands to tall wet temperate forests in the NW Mediterranean Basin. Atmospheric Environment 75, 348-364

19. Pudmenzky C., Rachel King R., Harry Butler H., 2015. Broad scale mapping of vegetation cover across Australia from rainfall and temperature data. Journal of Arid Environments, 120: 55-62

20. Quintana J.R., Cala V., Moreno A.M, Parra J.G.,

2007. Effect of heating on mineral components of the soil organic horizon from a Spanish juniper (Juniperus thurifera L.) woodland Journal of Arid nvironments 71:45–56

21. Rich et al., 2008: Phenology of mixed woody herbaceous ecosystems following extreme events: net and differential responses. Ecology, 89(2), 342-352.

22. Salata et al., 2015. How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. Energy and Buildings, 99: 32–49.

23. Scott L. Collins, Joseph E. Fargione, Chelsea L. Crenshaw, Etsuko Nonaka, James R. Elliott, Yang Xia, William T. Pockman, 2010. Rapid plant community responses during the summer monsoon to nighttime warming in a northern Chihuahuan Desert grassland. Journal of Arid Environments, Volume 74, Issue 5, May 2010, Pages 611-617

24. Villamil J.M.P. et al.(2002). Genetic Resources and Crop Evolution, 49: 47-51

25. White K. & Drake N., 2010. Storm and desertification. Atelier International sur les risques majeurs et les catastrophes naturelles. Stratégies de prévention et de protection. 27-36.

26. Witte, J.C., A.R. Douglass, A. da Silva, O. Torres, R. Levy, and B.N. Duncan, 2011: NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires. Atmospheric Chemistry and Physics, 11(17), 9287-9301.

27. Yadava et al., 2015. Tree ring evidence of late summer warming in Sikkim, northeast India. Quaternary International, 371: 175-180.