



# Les impacts prévisibles du changement climatique sur les ressources en eau de quatre grands bassins versants Méditerranéens

Marianne Milano

---

**Plan Bleu**

Centre d'Activités Régionales

Sophia Antipolis  
Janvier 2010



La Méditerranée sera particulièrement touchée par le changement climatique au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. La hausse des températures et l'accentuation des périodes de sécheresses modifieront la répartition spatiale et temporelle des précipitations et, par suite, des ressources en eau. Ceci, combiné aux fortes pressions anthropiques sur l'environnement et aux demandes en eau sans cesse croissantes, rendra la satisfaction des besoins en eau pour les différents usages de plus en plus difficile à assurer. Dans la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, la demande en eau a doublé et elle pourrait encore s'accroître de 20% d'ici 2025. Dès lors, les questions relatives à la gestion des ressources en eau se posent de manière accrue.

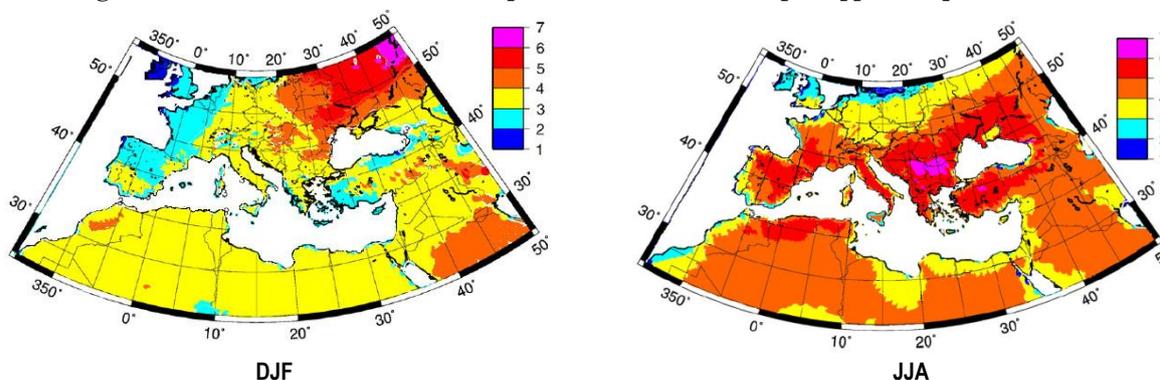
L'exploitation d'un modèle hydrologique à l'échelle du bassin versant permet une évaluation des variations des flux hydriques. En région méditerranéenne, une tendance à la diminution des écoulements de surface est mise en évidence, et plus particulièrement dans les pays du Sud. Une première estimation des risques hydrologiques encourus souligne la nécessité de promouvoir des politiques d'adaptation basées sur une amélioration de la gestion intégrée des ressources et demandes en eau.

### L'eau : une ressource rare et vulnérable en Méditerranée

Les ressources en eau renouvelables de l'ensemble des pays et territoires riverains de la Méditerranée sont estimées à hauteur de 1 080 km<sup>3</sup>/an, soit moins de 3% des ressources mondiales pour plus de 7% de la population mondiale. De plus, la différence de climat entre les pays du Nord et les pays du Sud et de l'Est est à l'origine d'une inégale répartition des ressources en eau. En effet, 68% des ressources en eau totales se concentrent dans les pays Nord méditerranéens contre 23% dans les pays nord africains et 9% dans les pays méditerranéens de l'Est (Plan Bleu, 2008). Cette importante disparité de répartition, couplée aux nombreux phénomènes climatiques et aux événements météorologiques extrêmes associés qui affectent la région, font du bassin méditerranéen l'une des zones du monde les plus vulnérables au changement climatique.

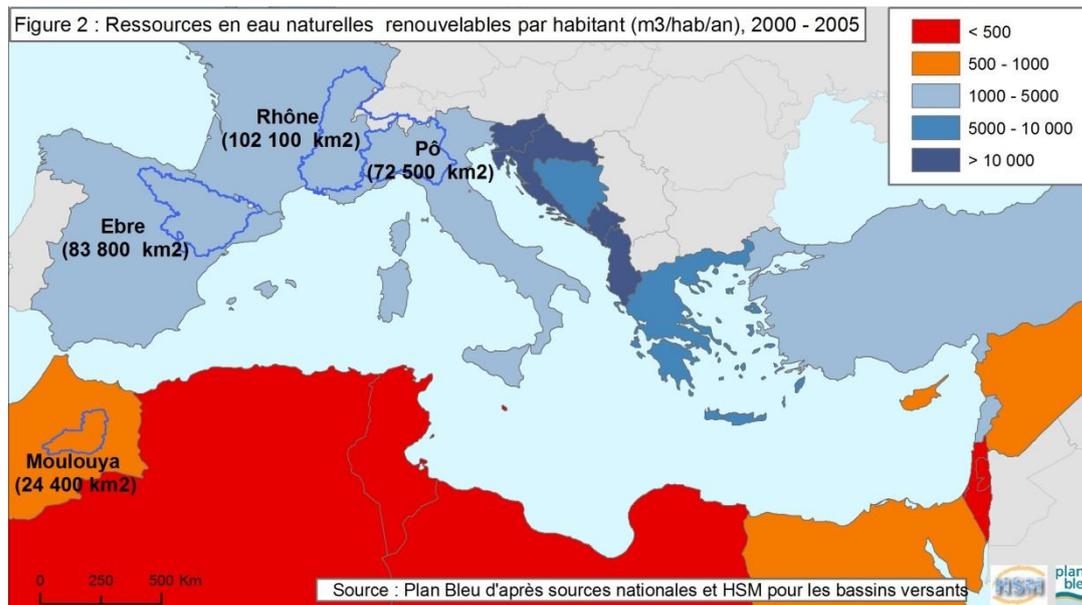
Dans son quatrième rapport paru en 2007, le Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) combine vingt-cinq modèles climatiques globaux afin d'évaluer les impacts du changement climatique aux horizons 2050 et 2100. Selon leurs travaux, une hausse des températures de +2 à +3°C est à prévoir en région méditerranéenne à l'horizon 2050, puis de +3 à 5°C à l'horizon 2100 (Figure 1). Cette hausse des températures devrait réduire l'humidité relative de l'air et accroître la charge capacitive d'humidité de l'atmosphère. Le taux de saturation de l'air sera alors plus important entraînant une diminution de la nébulosité et donc des précipitations. Les événements précipitants seront moins fréquents mais plus intenses, tandis que les périodes de sécheresse seront plus fréquentes et plus longues. La distribution spatiale et temporelle des précipitations s'en verra donc modifiée.

Figure 1 - Variations saisonnières des températures à l'Horizon 2100 par rapport à la période 1961-1990



Source : D'après Somot *et al.*, 2008

Les effets régionaux du changement climatique global sur le cycle de l'eau risqueront alors d'appauvrir les ressources en eau, d'amplifier leur variabilité et d'affaiblir leur exploitabilité. Les territoires les plus pauvres en eau seront vraisemblablement les plus affectés puisque, d'après Giorgi et Lionello (2008), les précipitations devraient, à l'Horizon 2100, diminuer de 20 à 30% dans les pays du Sud contre seulement 10% dans les pays du Nord. La population méditerranéenne « pauvre » en eau, c'est-à-dire celle des pays dotés de moins de 1 000 m<sup>3</sup>/hab/an, pourrait ainsi passer de 180 à 250 millions en 2025. La population en situation de « pénurie », c'est-à-dire disposant d'un capital inférieur à 500 m<sup>3</sup>/hab/an (en 2005 : Territoires palestiniens, Lybie, Malte, Israël, Tunisie, Algérie), pourrait dans le même temps passer de 60 à 80 millions d'habitants (Figure 2 ; Blinda et Thivet, 2009).



Ainsi, le bassin méditerranéen est particulièrement sensible aux modifications climatiques. Pour mieux appréhender l'évolution du climat en Méditerranée et de ses impacts sur les ressources en eau, il est indispensable de disposer d'outils efficaces de modélisation numérique du système hydrologique.

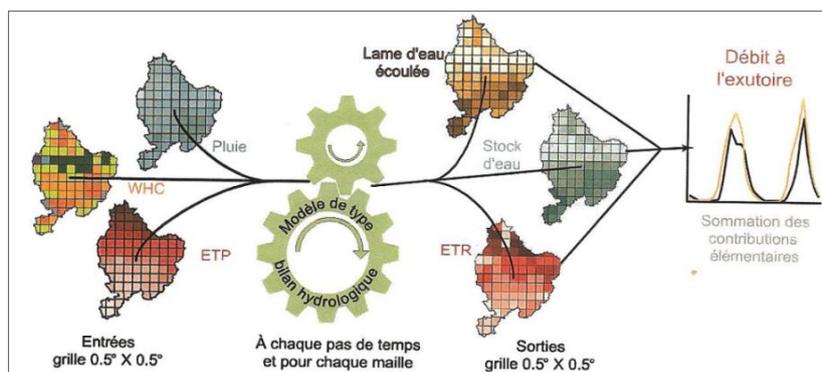
### La modélisation hydrologique : un outil performant pour évaluer les impacts du changement climatique sur les ressources en eau

Un premier travail d'évaluation des variations climatiques et hydrologiques aux horizons 2050 et 2100 a été entrepris par le Plan Bleu avec la collaboration du laboratoire HydroSciences Montpellier, laboratoire de recherche en sciences de l'eau. Pour mener à bien cette étude, des bassins versants représentatifs de l'espace méditerranéen ont été sélectionnés sur les bases suivantes : un bassin versant par rive méditerranéenne dont l'exutoire est en région côtière et dont la surface excède les 1 500 km<sup>2</sup>. En fonction de la disponibilité des données hydrologiques, quatre bassins versants ont ainsi pu être retenus : l'Ebre en Espagne (83 800 km<sup>2</sup>), le Rhône en France (102 100 km<sup>2</sup>), le Pô en Italie (72 500 km<sup>2</sup>) et la Moulouya au Maroc (24 400 km<sup>2</sup>). Ces bassins versants disposent d'un climat et d'un régime hydrologique dit méditerranéen avec des hivers doux et humides, où de fortes pluies peuvent se produire provoquant alors des crues parfois dévastatrices, et des étés longs, chauds et secs, où les débits atteignent leur plus faible valeur.

Pour étudier l'impact du changement climatique sur les ressources en eau de ces quatre bassins versants, le modèle hydrologique conceptuel global GR2M (Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel), développé par le CEMAGREF, a été utilisé (Figure 3). Celui-ci divise chaque bassin

versant en un maillage régulier ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ). Sur chaque cellule du réseau et à chaque pas de temps, une fraction de pluie participe à l'écoulement direct. Le niveau du réservoir évolue en fonction de la fraction de pluie restante et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Le remplissage maximal du réservoir « sol » correspond à la capacité en eau du sol, dont les données sont estimées à partir de la carte des sols de la FAO (Dieulin, 2005). Aucune anthropisation des sols n'est prise en compte. L'écoulement à l'exutoire du bassin versant est obtenu par la sommation des contributions des différentes cellules du réseau (Ardoin-Bardin *et al.*, 2009).

Figure 3 - Schéma de fonctionnement d'une chaîne de modélisation semi-globale de la relation pluie-débit



Source : Ardoin-Bardin, 2004

Pour procéder à des simulations de débits aux horizons 2050 et 2100, le modèle a été optimisé sur des périodes où les débits sont connus afin de s'assurer que le modèle reproduit au mieux le comportement du bassin. Pour cela, des données pluviométriques mensuelles couvrant la période 1901-2002, disponibles auprès du Climatic Research Unit (CRU) de l'Université d'East Anglia, ont été exploitées ainsi que des grilles mensuelles d'ETP, calculées selon la formule de Thornthwaite (Réménieras, 1986). Les données hydrologiques mensuelles proviennent du « Global Runoff Distribution Centre » (GRDC) et de la Banque Hydro, centres de collecte de données hydrologiques.

Une fois le modèle optimisé et la relation pluie-débit établie pour chaque bassin versant, il devient possible de simuler les écoulements de surface aux horizons 2050 et 2100. Pour cela, l'étude s'est basée sur l'utilisation de variables produites par trois modèles climatiques globaux couplés océan-atmosphère selon le scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B du GIEC 2007. Ce scénario évoque un monde au développement économique très rapide, à l'importante croissance démographique avec près de 9 milliards d'individus d'ici 2050, et où un équilibre est trouvé entre les différentes sources d'énergies.

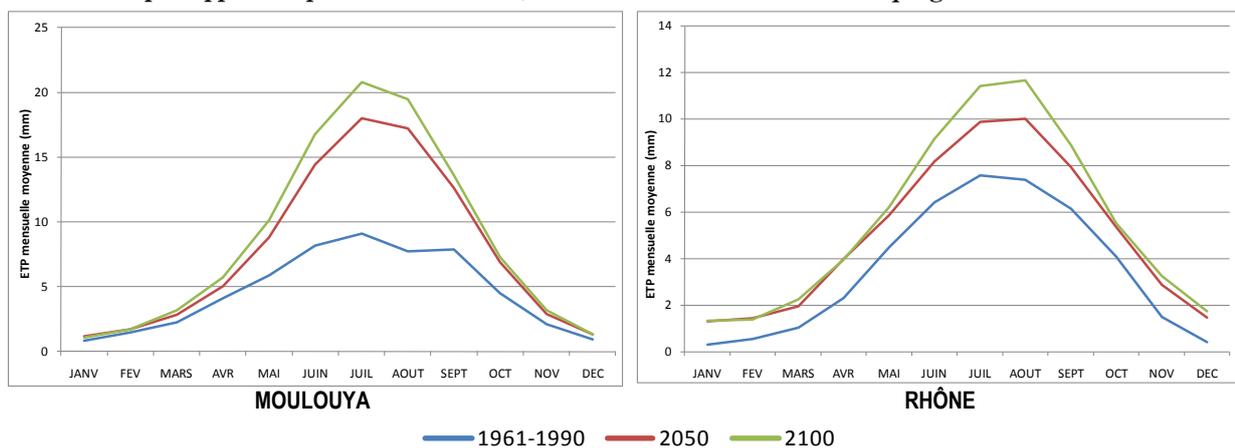
## Vers une aridification du bassin méditerranéen

A partir de la modélisation hydrologique, un premier état des variations hydroclimatiques aux horizons 2050 et 2100 a pu être établi. Malgré une hypothèse forte sur la stabilité de la relation pluie-débit dans le futur, certaines tendances ont pu être mises en évidence à partir des quatre bassins versants étudiés.

**Evolution de l'évapotranspiration.** La hausse des températures prévue en région méditerranéenne devrait entraîner à l'horizon 2050 une augmentation de l'ETP de 30 à 50%, et de 15% supplémentaires à l'horizon 2100. Les plus forts taux d'accroissement seraient enregistrés de juin à septembre avec une hausse moyenne de 3 à 8 mm/mois à l'horizon 2050 et de 2 à 5 mm/mois supplémentaires à l'horizon 2100. Les périodes estivales devraient alors être beaucoup plus chaudes et plus sèches. Le reste de l'année, l'ETP devrait augmenter de 0.6 à 0.8 mm/mois, rapportant ainsi les conditions hivernales à un contexte printanier ou d'automne (Figure 4).

Ces élévations auront des répercussions sur le cycle de l'eau. La hausse des températures, associée à la hausse de l'ETP, devrait être responsable de la fonte prématurée des neiges ainsi que de la diminution des précipitations (neiges et pluies confondues) entraînant une réduction des écoulements de surface. Les stocks d'eau seraient donc de moins en moins disponibles, en particulier durant la période estivale, période où les demandes en eau sont les plus fortes de par l'attrait touristique croissant des côtes méditerranéennes.

Figure 4- Evolution mensuelle de l'ETP sur les bassins versants de la Moulouya et du Rhône aux horizons 2050 et 2100 par rapport à la période de référence ; simulation selon le modèle climatique global ECHAM5

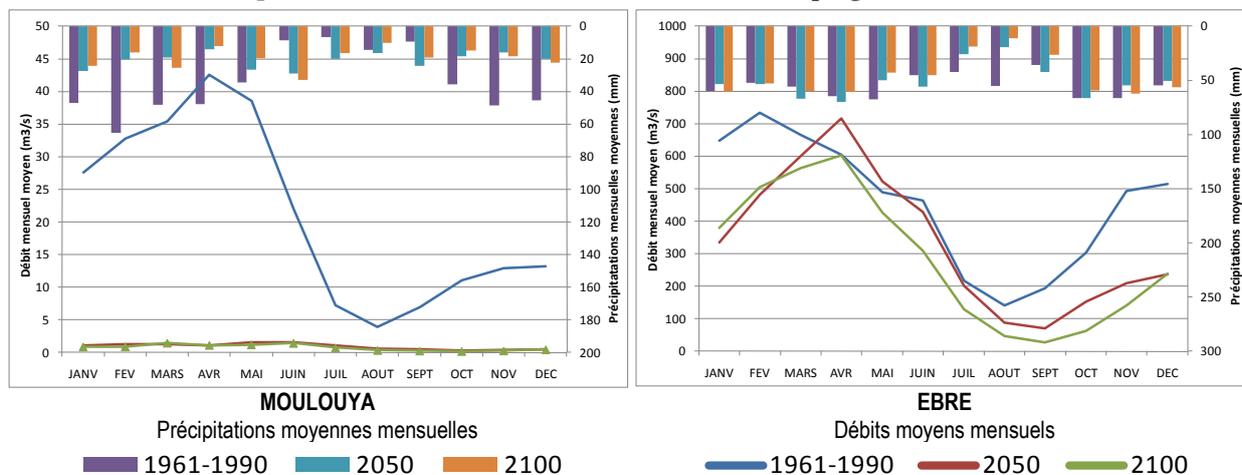


**Evolution des précipitations.** L'ensemble des modèles climatiques exploités prévoient une diminution progressive des précipitations aux horizons 2050 et 2100. Cette diminution sera marquée dans les régions nord méditerranéennes par des périodes estivales particulièrement sèches, -20 à -30% des précipitations observées au cours de la période de référence 1961-1990. Toutefois, au cours de la période hivernale, les niveaux observés devraient avoir tendance à se maintenir, voire à augmenter d'une dizaine de millimètres. En revanche, le bassin versant de la Moulouya sera marqué à ces mêmes horizons par des précipitations quasi-constantes sur l'ensemble de l'année, entre 20 et 25 mm/mois en moyenne. Les pluies hivernales seraient ainsi réduites de plus de moitié et la période estivale, avec 15 mm/mois de pluie supplémentaire, serait plus humide (Figure 5).

Au final, il semblerait que l'on tende vers un assèchement des bassins versants méditerranéens ce qui modifiera les propriétés des sols et, par conséquent, réduira vraisemblablement les écoulements de surface, les taux d'infiltration et la recharge des nappes d'eau souterraines.

**Evolution des écoulements de surface.** Sur l'ensemble du bassin méditerranéen, la tendance est à la diminution des écoulements de surface. Les bassins versants nord méditerranéens devraient subir une baisse des écoulements de 15 à 30%. C'est au cours de la période estivale que ces atténuations devraient être les plus sévères avec une réduction des débits de 30 à 40% et des étiages plus longs d'environ 2 mois. L'extension de cette période est toutefois à nuancer car lors de l'optimisation et de la validation du modèle hydrologique, il a pu être constaté que ce dernier avait tendance à prolonger les phases de tarissement d'un mois. Au cours de la période hivernale, les niveaux observés sur la période de référence 1961-1990 devraient être maintenus. Cependant, ces réductions seraient bien moins importantes que dans la région sud méditerranéenne. D'après l'étude du régime hydrologique du bassin versant de la Moulouya, la diminution des précipitations et la hausse de l'évapotranspiration seraient telles que les écoulements de surface ne montreraient plus de périodes de crue ou d'étiages, mais un écoulement faible et constant. Cette inquiétante évolution est sans doute liée à une difficulté des modèles climatiques exploités à reproduire les forçages du climat en zone semi-aride. L'analyse d'autres bassins versants au sud de la Méditerranée s'avère indispensable avant toute conclusion.

Figure 5 - Variations des précipitations mensuelles moyennes et des débits mensuels moyens des bassins versants de la Moulouya et de l'Ebre aux horizons 2050 et 2100 comparés aux précipitations et aux débits mensuels moyens observés sur la période 1961-1990 ; simulation selon le modèle climatique global HADCM3



Il reste que la hausse du taux d'ETP et la diminution des précipitations prévues aux horizons 2050 et 2100 entraîneront inévitablement une diminution des débits, malgré des hausses ponctuelles à la suite d'évènements pluvieux intenses. Cette diminution sera particulièrement marquée dans les régions sud méditerranéennes. Les ressources en eau seront alors moins disponibles.

### Des outils pour aider à l'amélioration de la gestion intégrée des ressources et demandes en eau

Il est encore difficile de quantifier à des échéances précises les effets régionaux du changement climatique global sur le cycle de l'eau. Toutefois, ce premier travail de modélisation hydrologique sur quatre bassins versants méditerranéens a permis de définir les grands traits évolutifs des ressources en eau en Méditerranée.

Pour le siècle à venir, la région méditerranéenne subira une réduction des ressources en eau : plus d'évapotranspiration, moins de neiges, moins de précipitations, donc moins d'écoulements de surface et une baisse de la recharge des nappes souterraines. Cet appauvrissement des ressources en eau sera d'autant plus marqué dans les régions sud méditerranéennes. A priori, la région nord méditerranéenne ne serait globalement pas en situation de déficit hydrique et devrait pouvoir subvenir aux besoins des populations, bien qu'elle ne soit pas à l'abri de tensions locales (cas du bassin de Cataluna en Espagne par exemple). Tandis qu'il est fort probable que le bassin versant de la Moulouya soit en situation de pénurie d'eau. L'extension et l'aggravation des situations de pénurie d'eau semblent inéluctables, surtout au Sud et à l'Est.

Face à une montée des problèmes liés à l'eau, il devient de plus en plus nécessaire de faire évoluer les politiques de gestion de l'eau (i) vers une utilisation plus rationnelle (« gestion de la demande en eau »), (ii) vers une augmentation du potentiel exploitable par une meilleure conservation des eaux et des sols et (iii) par un recours accru à la recharge artificielle des nappes. Les marges de progrès sont considérables puisqu'une meilleure gestion de la demande permettrait d'économiser un quart des demandes, soit environ 85 km<sup>3</sup> en 2025 (Blinda et Thivet, 2009).

L'amélioration de la gestion intégrée des ressources et demandes en eau appelle à un approfondissement de l'analyse à une plus grande échelle spatiale, préférentiellement régionale, afin d'avoir une vision plus globale des effets du changement climatique sur les ressources en eau. L'identification et le suivi régulier d'indicateurs d'impacts du changement climatique, adaptés à la

région méditerranéenne et permettant de suivre et d'anticiper les variations hydrologiques, seront par ailleurs fort utiles à la définition et à la mise en œuvre de politiques volontaristes de gestion de l'eau.

## Bibliographie

- Ardoin-Bardin S., Dezetter A., Servat E., Paturel J.E., Mahé G., Niel H., Dieulin C., 2009. Using GCM outputs to assess impacts of climate change on runoff for large hydrological catchments in West Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 54 (1), 77-89
- Ardoin-Bardin S., 2004. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France. 438p.
- Blinda M. et Thivet G., 2009. Ressources et demandes en eau en Méditerranée : situation et perspectives. *Sécheresse*. 20 (1), 9-16. DOI : 10.1684/sec.2009.0162
- Dieulin C., 2005. Calcul des capacités en eau des sols (Water Holding Capacity - WHC) à partir de la carte des sols de la FAO. Note internet.  
[http://www.hydrosociences.fr/sierem/download/Calcul\\_WHC\\_FAO.pdf](http://www.hydrosociences.fr/sierem/download/Calcul_WHC_FAO.pdf)
- GIEC, 2007. Climate Change 2007: The physical Science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment, Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p.
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet Change*, 63, 90–104
- Plan Bleu, 2008. La Méditerranée, hot spot du changement climatique. Document interne, 29p.
- Réménieras G., 1986. L'Hydrologie de l'Ingénieur. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France. Ed. Eyrolles. p. 222
- Somot S., Sevault F., Déqué M., Crépon M., 2008. 21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled atmosphere–ocean regional climate model. *Global Planet Change*, 63, 112-126