



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Ecologie et environnement

Spécialité : biodiversité et environnement

Thème

**Sécheresse et inondation vers la fin du 21 ème
siècle en zone sud-méditerranéenne**

Présenté par : Benouattas hanane

Benamara fatima zohra

Devant le jury :

Président : M^f ALIAT ToufikMAA (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Encadrant: M^{me} CHOURGHAL NaciraMCA (Univ. Bordj Bou Arréridj)

Examineur: M^f BENAINI Mohamed.....MAA(Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Année universitaire : 2019/2020

table des matières

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Résumé	

Introduction.....	01
-------------------	----

PARTIE I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Le changement climatique

1. Définition.....	02
2. Le climat actuel en zone Sud-Méditerranéenne.....	02
2.1 Températures.....	02
2.2 Précipitation.....	03
2.3. Evénement extrêmes.....	05
3 .Modélisation du climat.....	06
3.1. Généralités.....	06
3.2. Scénarios climatiques	07
4. Le climat futur en zone sud-méditerranéenne.....	09
4.1. Températures.....	09
4.2. Précipitation.....	10

Chapitre II: Changement climatique et sécheresse11

1. Définition.....	11
2. Types de sécheresse.....	11
3. Sécheresses et changement climatique en zone sud méditerranéenne	14
4. Gestion des risques liés aux sécheresses.....	15

Chapitre III: Changement climatique et inondation.....18

1. Définition	18
2. Types d'inondations.....	18
2.1 . Inondations de plaines	18
2.2. Inondations par remontées des nappes phréatiques.....	19

2.3. Inondations par ruissellement.....	19
2.4. Inondations par rupture de digue.....	20
2.5. Inondations marines	20
3. Inondations et changement climatique en zone sud méditerranéenne.....	21
4. Gestion des risques liés aux inondations	23
4.1. Au niveau des espaces urbains.....	23
4.2. Protection des édifices contre les crues.....	25
Conclusion générale	27
Référence bibliographique	28

Liste des abréviations et Acronymes :

CCNUCC : la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

CNRS : Centre Nationale de la Recherche Scientifique .

CNULCD: la Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification.

FAO: L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

GIEC : d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat .

MCG : le modèle climatique global .

MCR: le modèle de climat régional.

OMM : L'Organisation Météorologique Mondiale.

SRES : Le rapport spécial sur les scénarios d'émissions.

UNCCD :La Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques principales des RCP	09
Tableau 02 : Résumé des principaux indicateurs et indices de sécheresse.....	13

Listes des figures

Figure 01 : Changement des températures à la surface terrestre(1901-2012).....	03
Figure 02 : Évolution moyenne (mm/saison) des précipitations cumulées par saison humid (septembre à avril) sur le bassin méditerranéen pour la période (1950-2013).....	04
Figure 03 : . Évolution moyenne des fréquences d'apparition des jours de pluie par saison humide (septembre à avril) sur le bassin méditerranéen pour la période(1950-2013)....	05
Figure 04 : Guidage du modèle climatique régional par le modèle climatique global.....	07
Figure 05 : Principaux scénarios du GIEC.....	08
Figure 06 : types de sécheresse avec des définitions simple.....	12
Figure 07 : Inondation de Plaine.....	18
Figure 08 : inondations par remontées des nappes phréatiques.....	19
Figure 09 : Inondations du Gard	19
Figure 10 : Inondation par débordement au-dessus de la digue.....	20
Figure 11 : Vagues lors d'une tempête submergeant la cote	21
Figure 12 : Indice de risque d'inondation sur chaque site du patrimoine mondial.....	22
Figure 13 : Le jet des remblais dans les cours d'eau aboutit à des inondations liées aux embâcles.....	24
Figure 14 : Digue dans le parc Brewer d'Ottawa Ontario.....	24
Figure 15 : Enrochement à Thuir (La trencade - France).....	25

Résumé:

Les changements climatiques sont la question déterminante de notre époque et nous sommes à un moment décisif.

Le changement climatique en cours depuis la Révolution industrielle, Dans les travaux du GIEC, le terme fait référence à tout changement dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines.

La région sud méditerranéenne subirait plus de modification certains pays ont subi une augmentation de température supérieure à 2°C, avec une diminution de niveau des précipitations ,la plupart des diminutions significatives montrent des valeurs comprises entre -1 et -6 mm par saison sur une très grande partie.

Selon le GIEC ce changement climatique s'accompagnerait d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles d'origine climatique telle que les sécheresses et les inondations .

le réchauffement du bassin méditerranéen pourrait atteindre a la fin du siècle 4°C avec une diminution des précipitations d'environ - 10% à - 20% pour une grande partie de l'Afrique du Nord. d'ici la fin du siècle les résultats montrent quel que soit le modèle prévisionnel envisagé que Les phénomènes de sécheresse et les risques d'inondations peuvent être aggravés par les modifications du climat, notamment dans les pays sud méditerranéennes

La gravité de ces épisodes augmente vite, les vies humaines seront de plus en plus menacées , les torrents d'eau de plus en plus impressionnants. Sans action immédiate, il sera beaucoup plus difficile et coûteux de s'adapter aux conséquences futures de ces changements.

Abstract:

Climate change is the defining issue of our time and we are at a defining moment. Climate change underway since the Industrial Revolution, In the work of the IPCC, the term refers to any change over time, whether due to natural variability or human activities.

The southern Mediterranean region would undergo more modification some countries have undergone a temperature increase of more than 2 ° C, with a decrease in the level of precipitation, most of the significant decreases show values between -1 and -6 mm per season over a very large part. According to the IPCC this climate change would be accompanied by an increase in the frequency and intensity of natural disasters of climatic origin such as droughts and floods.

the warming of the Mediterranean basin could reach at the end of the century 4 ° C with a decrease in precipitation of about - 10% to - 20% for a large part of North Africa. by the end of the century, the results show, whatever the forecast model considered, that the phenomena of drought and the risk of flooding can be aggravated by changes in the climate, particularly in the southern Mediterranean countries

The severity of these episodes is increasing rapidly, human lives will be more and more threatened, the torrents of water more and more impressive. Without immediate action, it will be much more difficult and costly to adapt to the future consequences of these changes.

ملخص

تغير المناخ هو القضية الحاسمة في عصرنا ونحن في لحظة حاسمة.

تغير المناخ الجاري منذ الثورة الصناعية ، في عمل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ، يشير المصطلح إلى أي تغيير بمرور الوقت ، سواء كان ذلك بسبب التقلب الطبيعي أو الأنشطة البشرية

ستخضع منطقة جنوب البحر الأبيض المتوسط لمزيد من التعديل ، وقد شهدت بعض البلدان زيادة في درجة الحرارة بأكثر من 2 درجة مئوية ، مع انخفاض في مستوى هطول الأمطار ، وتظهر معظم الانخفاضات الكبيرة القيم بين 1 - و6- في الموسم علي جزء كبير جدًا . ووفقًا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ، فإن هذا التغير المناخي يترافق مع زيادة في تواتر وشدة الكوارث الطبيعية ذات المنشأ المناخي مثل الجفاف والفيضانات.

يمكن أن يصل ارتفاع درجة حرارة حوض البحر الأبيض المتوسط في نهاية القرن إلى 4 درجات مئوية مع انخفاض في هطول الأمطار بنحو -10% إلى -20% في جزء كبير من شمال إفريقيا. بحلول نهاية القرن ، تظهر النتائج ، بغض النظر عن نموذج التوقعات ، أن ظواهر الجفاف وخطر الفيضانات يمكن أن تتفاقم بسبب التغيرات في المناخ ، لا سيما في بلدان جنوب البحر الأبيض المتوسط.

تتزايد شدة هذه النوبات بسرعة ، وستكون حياة البشر مهددة أكثر فأكثر ، وسيول المياه أكثر إثارة للإعجاب. بدون اتخاذ إجراءات فورية ، سيكون التكيف مع العواقب المستقبلية لهذه التغييرات أكثر صعوبة وتكلفة .

Introduction

La mer Méditerranée s'étend d'Ouest en Est sur environ 4000 km de 6°W à 36°E. En latitude, elle est comprise entre 30°N et 46°N. Elle possède une profondeur moyenne de 1500 m et représente seulement 0.7% de la surface totale des océans et 0.3% de leur volume. Pourtant, elle d'éteint un rôle primordial dans les études climatiques et océanographiques d'hier et d'aujourd'hui (Samuel, 2007).

Le cinquième rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) pose le constat qu'il est certain que les températures ont augmenté et une augmentation du niveau des océans, au cours du vingtième siècle dans les régions méditerranéennes. Cette modification rapide, si les modèles disent vrai, devrait se traduire par une augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles (tempêtes, sécheresses, inondations). Les pays du Sud de la Méditerranée apparaissent plus vulnérables au changement climatique que ceux de la rive Nord. Ce réchauffement est également perceptible au Nord de l'Afrique qui devraient être plus touchée par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21ème siècle (Yves et al., 2008).

La région du sud de la méditerranéenne a été l'une des régions les plus touchées par les changements climatiques. Au total, 115 catastrophes liées au climat ont été répertoriées pour les pays d'Afrique du Nord au cours des vingt dernières années et ce dénombrement inclut un grand nombre d'inondations inattendues, de tempêtes et de sécheresses (Stéphane et al., 2018).

Dans ce travail, nous présentons une synthèse sur les caractéristiques du climat futur en région sud méditerranéenne ainsi que sur les projections concernant les sécheresses et inondations et leur gestion.

chapitre I: Le changement climatique

1. Définition

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), un organe international des Nations Unies créé en 1988 afin d'évaluer sans parti pris la question du changement climatique, et regroupant des milliers de scientifiques définit le changement climatique comme : « *variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus.*

Cette définition diffère de celle figurant dans la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), selon laquelle les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (IPCC, 2007).

Selon l'agence parisienne du climat, on parle de changement climatique ou de dérèglements climatiques car on note des changements importants dans les phénomènes climatiques : plus de canicules, ou inversement plus de précipitations, fréquence des tempêtes ou des ouragans plus élevée, etc. Il s'agit d'étudier et d'anticiper les variations de température pour l'ensemble du globe et sur des temps longs (étude du climat à grande échelle) et non la variabilité des températures à l'échelle de quelques jours ou sur une saison (prévisions météorologiques).

2. Le climat actuel en zone Sud-Méditerranéenne

Le climat du bassin Méditerranéen est plutôt sec et chaud, caractérisé par de longues périodes de sécheresses, mais aussi par des pluies parfois intenses durant les périodes hivernales et automnales.

Les rives Sud subissent des températures plus élevées ainsi que des périodes sécheresses plus intenses ; 80% du volume de leurs précipitations annuelles proviennent des pluies hivernales. (Stéphane et al., 2018).

2.1.Températures

Alors que la hausse moyenne des températures à la surface terrestre depuis la révolution industrielle est estimée à environ 0,85°C, certains pays riverains de la Méditerranée, et en particulier au Maghreb, lors du 20^{ème} siècle (Stéphane et al., 2018).

La frange sud du bassin est naturellement plus chaude ($> 20^{\circ}\text{C}$) et plus sèches ($< 300\text{ mm}$), notamment sur les côtes libyennes et égyptiennes pour lesquelles nous sommes aux limites du concept de climat méditerranéen (influences tropicales sèches très marquées). Les températures présentent une valeur croissante du nord-ouest du bassin ($15,4^{\circ}\text{C}$ à Marseille) au sud-est ($21,0^{\circ}\text{C}$ à Alexandrie et Tel-Aviv) (Elodie et al ., 2017). Selon L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en 2018 au Début juillet, une vague de chaleur s'est étendue à l'Afrique du Nord et des records ont été enregistrés à plusieurs endroits en Algérie, où un nouveau record national de $51,3^{\circ}\text{C}$ a été établi.

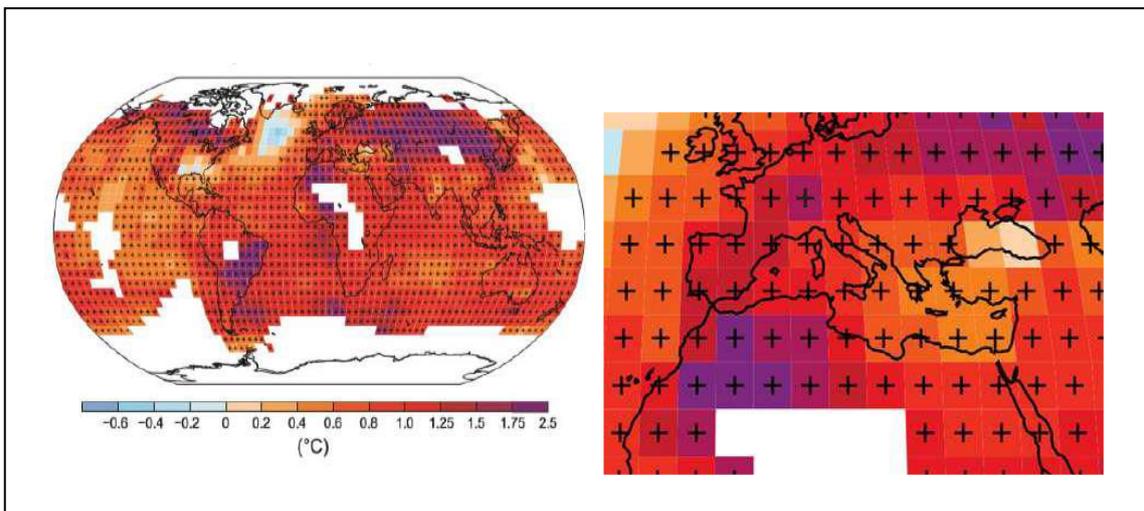


Figure 1 : Changement des températures à la surface terrestre, 1901-2012. (Stéphane et al ., 2018).

2.2 Précipitation

Le niveau des précipitations a diminué sur une très grande partie du bassin durant la période 1951-2010, en particulier au Maghreb en Espagne et sur la rive Nord-est (Stéphane et al ., 2018). Alpert et al. (2002), montrent une diminution des pluies en Espagne, Italie, Turquie, Israël et Chypre avec des baisses pouvant localement atteindre 10 à $25\text{mm}/\text{an}$ par décennie (Stéphane et al ., 2018).

L'étude menée par Hamlaoui-Moulai et al., (2013) sur la période 1914-2004 en utilisant 21 stations localisées dans le nord-ouest de l'Algérie, confirme que cette zone est en effet la plus vulnérable en termes de décroissance des précipitations. A l'inverse, cette tendance n'est pas prononcée dans la partie nord-est, telle que le Nord-Est de l'Algérie (Chourghal, 2016).

Les fortes pluies se produisent généralement pendant l'automne, période à laquelle le contraste de température entre la mer Méditerranée réchauffée pendant l'été et l'air plus froid peut être très important et favoriser une forte évaporation (Nicolas da Silva, 2018).

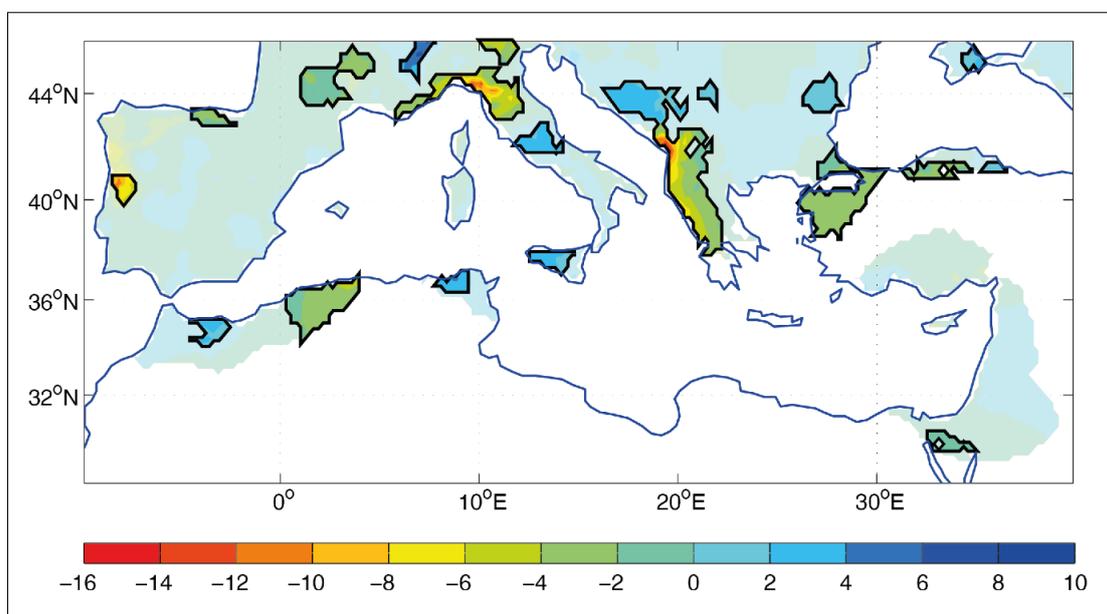


Figure 2 : Évolution moyenne (mm/saison) des précipitations cumulées par saison humide (septembre à avril) sur le bassin méditerranéen pour la période 1950-2013 (Raymond et al., 2016).

La figure 2 montre les tendances des cumuls moyens sur la période 1950-2013 à l'échelle du bassin méditerranéen. Certains secteurs montrent une augmentation significative des précipitations saisonnières moyennes comprise entre +1 mm et +4 mm par saison (+60 à +250 mm en 63 ans) sur la période 1950. Il s'agit de zones situées au nord du Maroc, au nord de la Tunisie.

Malgré ces augmentations de précipitations localisées, il semble tout de même que le bassin méditerranéen soit majoritairement affecté par une diminution des précipitations saisonnières moyennes (figure 2). La plupart des diminutions significatives montrent des valeurs comprises entre -1 et -6 mm par saison (-60 à -370 mm en 63 ans), comme pour le nord de l'Algérie (Raymond et al., 2016).

Sur les secteurs sud du bassin méditerranéen, on retrouve une fréquence maximale d'apparition des jours de pluie de l'ordre de 35% par saison. Les tendances significatives de l'occurrence des jours de pluie par saison montrent de manière quasi généralisée une diminution (figure 3) (Florian Raymond et al., 2016).

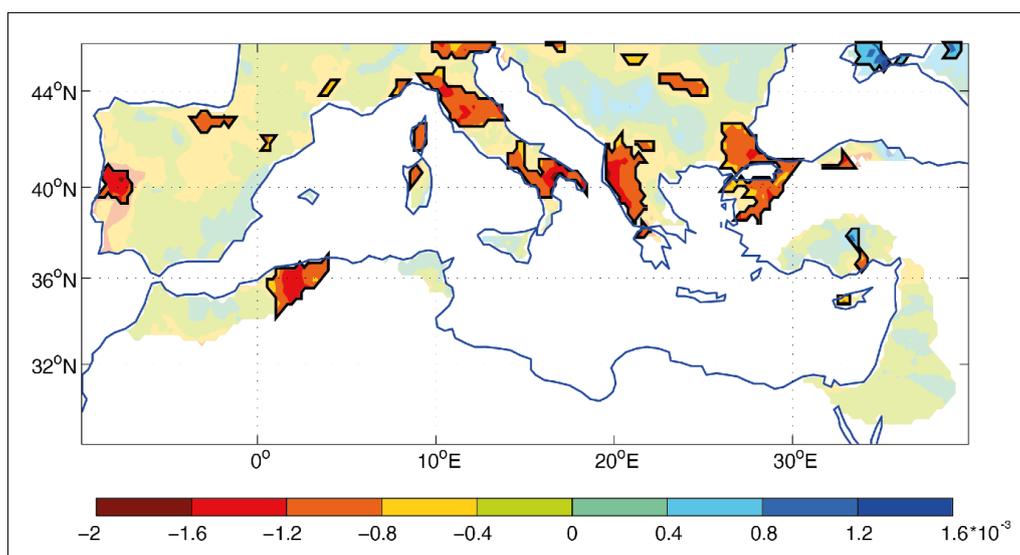


Figure 3. Évolution moyenne des fréquences d'apparition des jours de pluie par saison humide (septembre à avril) sur le bassin méditerranéen pour la période 1950-2013 (Raymond et al 2016) .

Tramblay et al., (2020) remarquent également une augmentation de l'aridité et une réduction du nombre de jours de pluie. Cette dernière est beaucoup plus forte dans le nord de l'Algérie, mais également dans le nord du Maroc et de la Tunisie (Tramblay et al., 2013).

2.3. Événement extrêmes

Les changements climatiques devraient amener une intensification des événements climatiques extrêmes, tels que des pluies très intenses, des tempêtes et fortes houles, des vagues de chaleur ou encore des sécheresses. L'étude des tendances passées concernant les précipitations extrêmes ont mis en évidence des hausses, depuis 1950, de 4% par décennie dans certaines zones d'Afrique du Nord.

En Algérie, le changement climatique est à l'origine de fréquentes sécheresses, de la désertification et des problèmes de pénuries de nourriture et d'eau. Bien que la contribution de l'Algérie au réchauffement de la planète soit minimale (moins de 0,5% des émissions mondiales de GES), le pays est vulnérable et reste très exposé aux changements climatiques.

Le Maroc, autre pays du sud de la Méditerranée, partage des similitudes avec l'Algérie en changement climatique (Pouffary et al., 2018).

3 .Modélisation du climat

3.1. Généralités

Selon le directeur de Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS), les projections climatiques qui servent de base à l'élaboration du rapport d'évaluation du GIEC reposent sur des modèles climatiques globaux. Ces modèles consistent en la représentation numérique de la planète et des interactions entre l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales, interactions qui gouvernent l'évolution du climat. L'espace géographique numérique est composé de cases, appelées les mailles (à la manière des pixels d'une photo). Les interactions entre mailles sont modélisées par un certain nombre d'équations mathématiques, qui traduisent la conservation de diverses quantités physiques (masse, énergie, quantité de mouvement, etc.). Plus la maille est petite, plus le modèle est précis. L'effet des phénomènes météorologiques d'échelle inférieure à la maille (qui sont flous si on zoome la photo) est pris en compte grâce à des termes qui sont ajoutés aux équations de conservation. Un modèle climatique cherche à approcher le plus possible la réalité, il essaie de représenter au mieux les forces qui induisent les mouvements atmosphériques, océaniques ou terrestres. Pour cela, le modèle part de conditions initiales connues des variables climatiques telles que le vent, la température, le rayonnement, l'humidité... et les fait évoluer en résolvant les équations mathématiques.

Le modèle climatique peut couvrir l'ensemble du globe, avec pour contrepartie d'utiliser des mailles de taille relativement grossière (supérieure à 100 km). Dans ce cas, il s'agit d'un modèle de climat global « MCG ». La résolution (la taille du pixel) grossière de ce type de modèle induit une représentation trop grossière du relief, des côtes mais aussi de l'occupation des sols. Ceci limite les études des événements extrêmes, les études d'impact et de stratégies d'adaptation associées aux changements climatiques. Or produire de l'information à l'échelle régionale est indispensable car l'adaptation aux changements repose en grande partie sur les initiatives locales. Cette démarche nécessite des résolutions beaucoup plus fines, autour de 10 km, pour pouvoir bien décrire le relief, le trait de côte qui sépare la mer du continent, l'occupation des sols dont les zones urbaines. Dans ce cas, il est judicieux d'utiliser un modèle climatique couvrant uniquement une région, avec comme avantage d'utiliser une maille de taille fine (inférieure à 20 km). Dans ce cas, il s'agit d'un modèle de climat régional « MCR ».

Lorsqu'un climat régional est utilisé pour raffiner spatialement les simulations issues d'un modèle de climat global, on parle alors de désagrégation dynamique ou « régionalisation ». Il s'agit en quelque sorte d'un « zoom » sur une région particulière. C'est ce que représente schématiquement la figure 1. Elle illustre le guidage par le modèle climatique global (à droite) du modèle climatique régional (à gauche) (Drobinski, 2015).

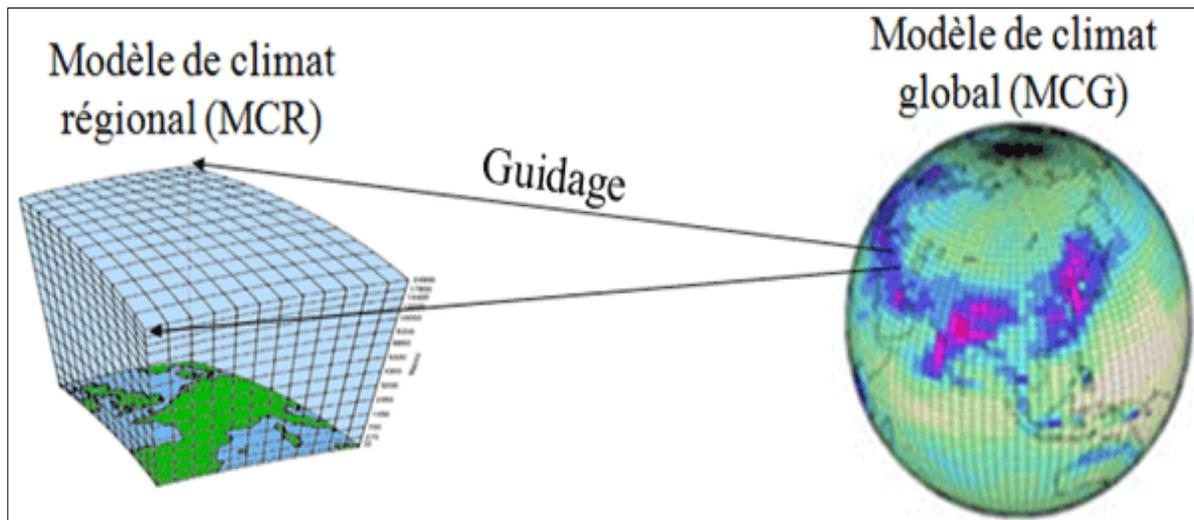


Figure 4 : Guidage du modèle climatique régional par le modèle climatique global (Philippe, 2015).

3.2. Scénarios climatiques

Il est maintenant largement admis que les changements climatiques observés ces dernières décennies sont essentiellement d'origine anthropique : « Dans les projections qu'il établit sur l'évolution du climat, le GIEC ne tient généralement compte que de l'influence sur le climat de l'augmentation des gaz à effet de serre imputable aux activités humaines et d'autres facteurs liés à l'homme. » (Lauzeral, 2012).

L'évolution du climat au cours des prochaines décennies va dépendre de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre et donc de l'évolution des sociétés humaines. Quatre grandes familles de scénarios ont été développées en combinant différents changements démographiques, développements économiques et sociaux, et évolutions technologiques (IPCC Spécial Reports Emission Scenarios, 2000). On peut classer ces scénarios SRES selon deux axes de développement (Figure 5) : tourne vers l'économie (A) ou l'environnement (B), mondialise (1) ou régionalisé (2) décrits dans le SRES (Spécial Report on Emissions Scenarios) (GIEC, 2000).

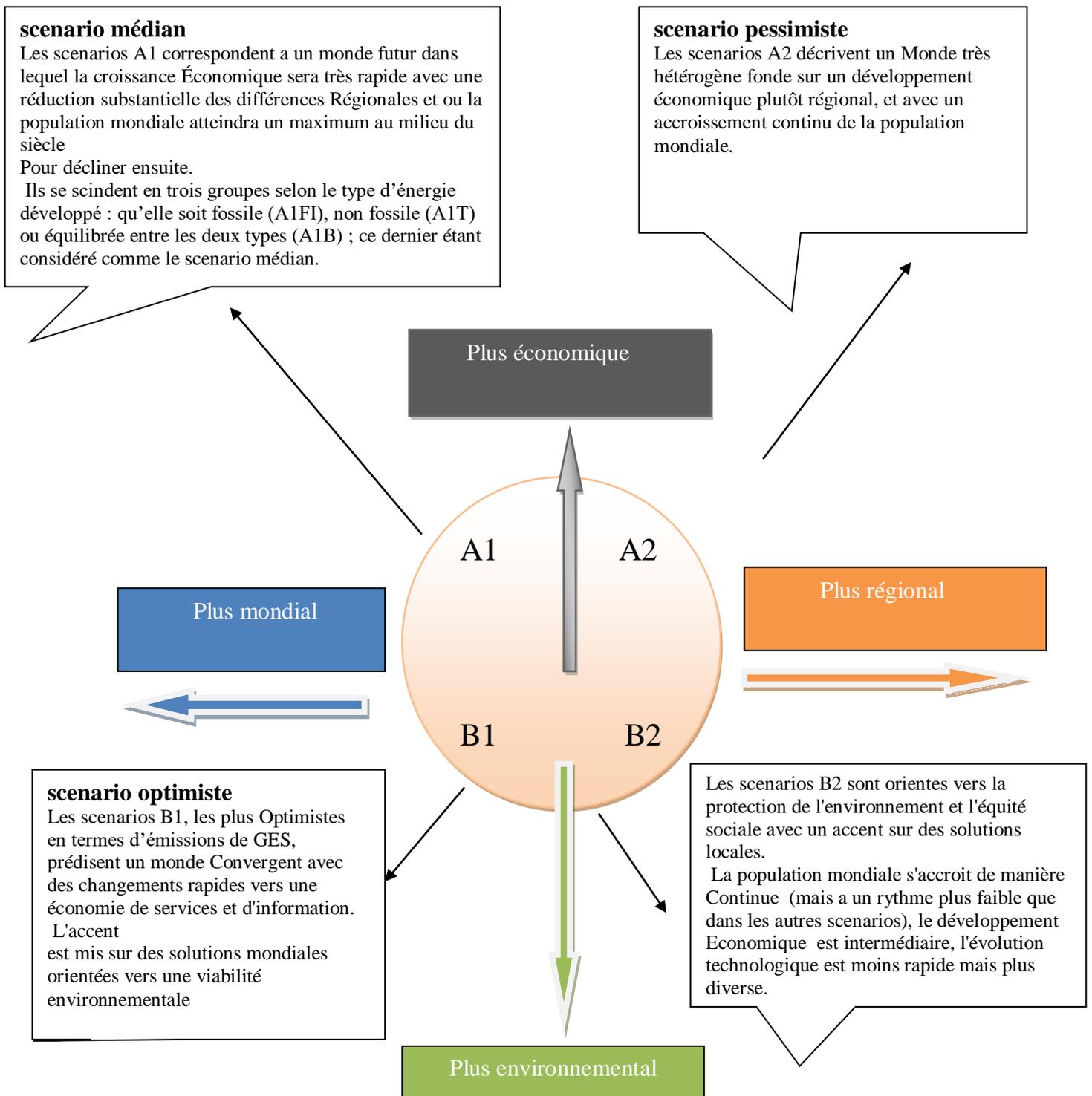


Figure 5 : Principaux scénarios du GIEC.

Un nouvel ensemble de scénarios, les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), a été utilisé pour des nouvelles simulations de modèles climatiques réalisées dans le cadre de la cinquième phase du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5) du Programme mondial de recherche sur le climat. Dans tous les RCP, les concentrations atmosphériques du CO₂ sont plus élevées en 2100 qu'actuellement, en raison d'une poursuite de l'augmentation du cumul des émissions de CO₂ dans l'atmosphère au cours du XXI^e siècle (IPCC, 2013).

Tableau 1 : Caractéristiques principales des RCP (Moss et al ., 2010).

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	>8,5Wm ⁻² en 2100	>1370 eq-CO ₂ en 2100	Croissante
RCP 6.0	~6Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100	~850 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~4,5Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100	~660 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP 2.6	Pic à ~3Wm ⁻² avant 2100 puis déclin	Pic ~490 eq-CO ₂ avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

Une comparaison avec les anciens scénarios SRES, pour leur période commune, montre que le RCP 8.5, scénario extrême, est un peu plus fort que l'ancien scénario SRES dénommé A2. Le RCP 6 est proche du scénario SRES A1B, tandis que le RCP 4.5 est proche du SRES B1. Le seul profil d'évolution sans équivalent avec les anciennes propositions du GIEC est le RCP2.6 qui intègre les effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C (Mondon et Imbard , 2013).

4. Le climat futur en zone sud-méditerranéenne

4.1. Températures

Les températures globales montrent une augmentation pour toute la Méditerranée pour tous les mois de l'année au cours de la période 2071–2100 (Hertig, 2007). Sous un scénario d'évolution moyenne des émissions de gaz à effet de serre (GES), le réchauffement du bassin

méditerranéen pourrait atteindre d'ici à la fin du siècle 4°C (bord de mer) à 5°C ou plus (notamment zones Saharienne et rive Est) en été, 2°C à 4°C lors des autres saisons .

Ces chiffres pourraient s'accroître d'un demi degré dans un scénario de fortes (Représentative Concentration Pathways 8,5 ou RCP8,5), ou au contraire être réduits d'un degré dans un scénario bas carbone (RCP2,6). Le réchauffement sera dans tous les cas plus prononcé dans les terres qu'au niveau de la mer (Stéphane et al., 2018)

L'ensemble GCM indique une augmentation de la température médiane d'environ 4 ° C en été et d'environ 2,5 ° C en hiver d'ici la fin du XXIe siècle dans le scénario des voies de concentration représentatives modérées (RCP) 4.5 et environ 7 ° C en été et 4 ° C en hiver dans le scénario plus pessimiste RCP8.5 pour toute la région de l' Afrique du Nord (Tramblay et al., 2020).

4.2. Précipitation

Quelque soit le scénario considéré, les simulations prévoient une intensification des pluies extrêmes au nord de la Méditerranée. « *Dans le sud de la France - notamment dans le bassin du Rhône -, le nord de l'Italie, le nord de la Grèce et sur les côtes adriatiques, l'augmentation de volume de ces pluies intenses pourrait dépasser 20% à l'horizon 2100* », chiffre Yves Tremblay. Les résultats montrent également que cette tendance à la hausse a commencé tôt dans les différentes simulations, au début des années 2000 !

Concernant le sud du bassin méditerranéen (nord de l'Afrique), les chercheurs observent, au contraire, une tendance à la baisse des cumuls journaliers. « *Mais avec une grande incertitude ; ce qui ne permet pas de conclure rigoureusement* », une diminution des précipitations d'environ - 10% à - 20% pour une grande partie de l'Afrique du Nord (GIEC 2013) .

Une diminution de la quantité de précipitations saisonnières extrêmes jusqu'à la fin du 21ème siècle devient visible pour de nombreuses parties de la péninsule ibérique avec les plus fortes réductions de plus de 70 mm sur la côte méditerranéenne orientale de l'Espagne et certaines parties de l'Algérie méditerranéenne.

Des diminutions sont également prévues pour la Tunisie, certaines parties de l'Italie et certaines régions de la Méditerranée orientale (Hertig et al., 2013).

chapitre II: Changement climatique et sécheresse

1. Définition

La sécheresse se définit comme un déficit en précipitations s'étendant sur de longues périodes, et menant à une pénurie en eau pour un ou différents secteurs d'activités. Techniquement, elle peut être identifiée par un écart aux conditions historiques moyennes de précipitation et/ou de température menant à la diminution du contenu en eau des sols (Lajoie et al ., 2016).

Le terme sécheresse en général se rapporte à un épisode de manque d'eau plus ou moins long mais suffisant pour que les sols, la flore et la faune en soient affectés. Ce phénomène peut être cyclique ou bien exceptionnel et peut toucher une zone localisée comme un sous-continent entier. Et si certaines zones sont plus vulnérables, des épisodes de sécheresse peuvent frapper à presque n'importe quel endroit du globe. Suivant les régions du monde et leurs ressources en eau, la définition de l'état de sécheresse varie (Mayer, 2016) .

La sécheresse ne doit pas être confondue avec l'aridité. La sécheresse se manifeste dans le temps tandis que l'aridité est un phénomène spatial (elle est limitée dans les régions à faible précipitation) (Layelmam , 2008).

2. Types de sécheresse

Il existe plusieurs formes de sécheresses interdépendantes entre elles comme le résumé dans le diagramme de la figure 6.

La difficulté de définir la sécheresse pousse les chercheurs à définir des indicateurs de ce Phénomène, Il est important de préciser ce que l'on entend par indicateurs de sécheresse.

Les indicateurs sont des variables ou des paramètres qui servent à décrire les conditions de sécheresse. Citons, par exemple, les précipitations, la température, l'écoulement fluvial, le niveau des nappes et des réservoirs, l'humidité du sol et le manteau neigeux (OMM, 2016).

Ces indices constituent également un excellent moyen de communication avec le public et un outil de décision pour le gouvernement.

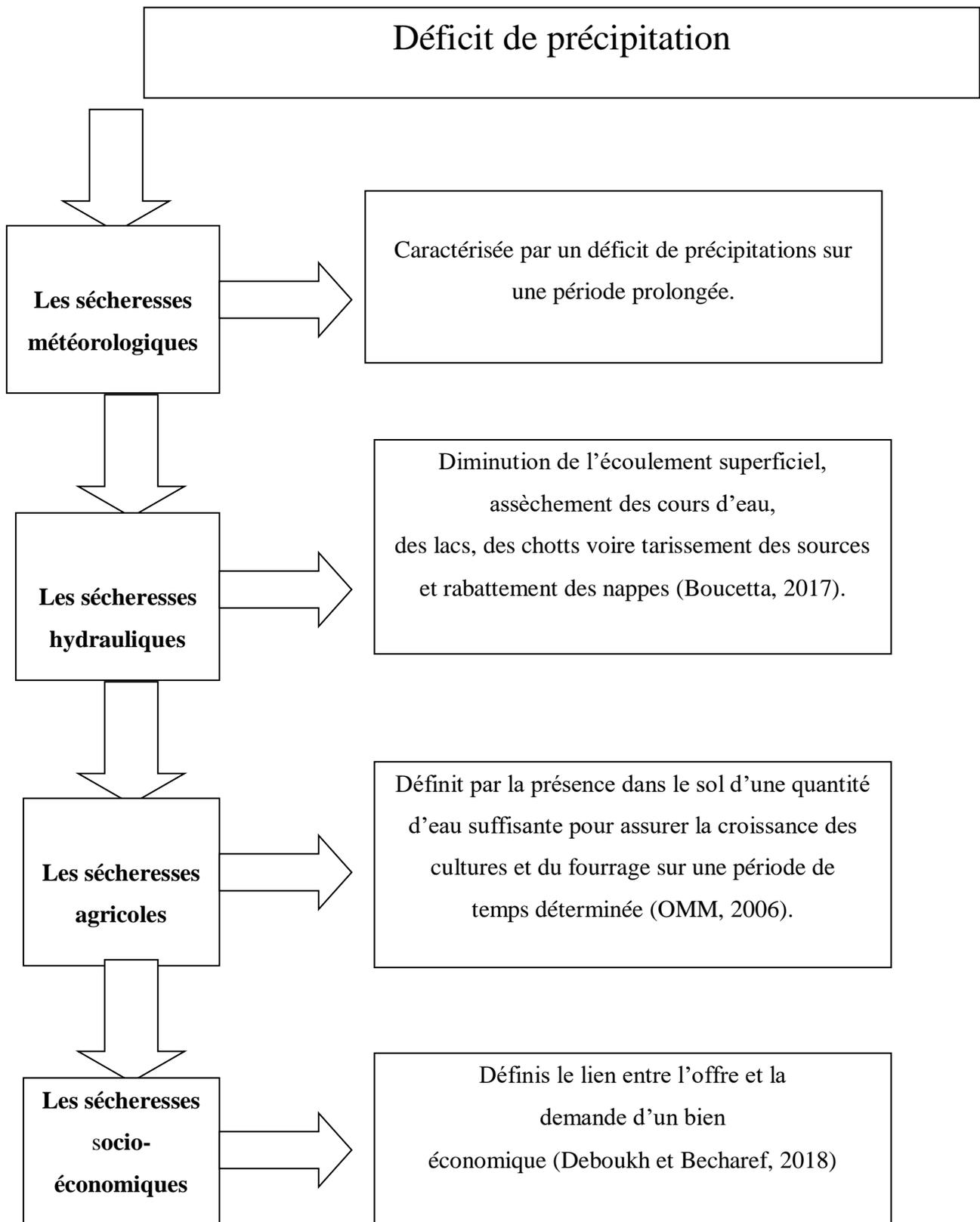


Figure 6 . Les types de sécheresse avec des définitions simple

Le tableau suivant montre divers types de ces indices :

Tableau 2 . Résumé des principaux indicateurs et indices de sécheresse (UNCCD, 2019).

Types des indices de sécheresse	Indices	Notes
Météorologie	Indice d'anomalie d'aridité (AAI)	Disponible sur le plan opérationnel pour l'Inde ; applicable à l'agriculture sous les climats tropicaux.
	Indice de sécheresse effectif (EDI)	Peut être calculé à l'aide du logiciel SPATSIM disponible gratuitement
	Indice Standardisé des Précipitations (SPI)	L'OMM a mis en évidence le point de départ pour la surveillance de la sécheresse météorologique. Recommandé par l'OMM en 2009 comme indicateur principal pour la surveillance de la sécheresse (Hayes et al. 2010). Facile à calculer et applicable sous tous les climats. Logiciel gratuit disponible pour le calcul.
	Anomalie pondérée des précipitations normalisées (WASP)	Utilise des données maillées pour surveiller la sécheresse dans les régions tropicales.
	Indice d'humidité des cultures (CMI)	Expansion du PDSI spécifiquement pour l'agriculture ; des valeurs hebdomadaires sont requises.
	Indice de sévérité de la sécheresse de Palmer (PDSI)	Non écologique en raison de la complexité des calculs et de la nécessité de disposer de données complètes en série. Principalement remplacés par des indices plus récents tels que le SPI.
Hydrologie	Indice de sévérité de la sécheresse hydrologique de Palmer (PHDI)	Données complètes en série requises. Estime le bilan hydrique complet, mais n'inclut pas les décisions de gestion de l'eau et d'irrigation.
	Indice de débit normalisé des cours d'eau (SSFI)	Utilise le programme SPI avec les données sur le débit des cours d'eau.
	Indice de sécheresse des cours d'eau (SDI)	Calculs semblables à ceux du SPI, mais utilisant des données de débit des cours d'eau plutôt que les précipitations. Largement disponible et facile à utiliser, mais ne considère pas les interventions de gestion des débits des cours d'eau.
Téledétection – agriculture	Indice de végétation amélioré (EVI)	Ne sépare pas le stress dû à la sécheresse des autres stress. Haute résolution et couverture mondiale complète

	Indice de réponse à la sécheresse de la végétation (VegDRI)	Tient en compte de nombreuses variables pour séparer le stress de la sécheresse des autres stress de la végétation. Applicable à la saison de croissance de la végétation.
	Indice de santé de la végétation (VHI)	L'une des premières tentatives de surveillance de la sécheresse à l'aide de données de télédétection. Haute résolution et couverture mondiale.

3. Sécheresses et changement climatique en zone sud méditerranéenne

Les problèmes liés au changement climatique ne datent pas d'hier. Les changements climatiques affectent le monde entier à des échelles et à des fréquences différentes. La région du sud de la Méditerranée n'a pas été épargnée à cet égard et ses effets se font sentir à travers des événements climatiques (catastrophes naturelles) et par les processus climatiques (Pouffary, 2018)

Les rives Sud subissent des températures plus élevées ainsi que des périodes de sécheresses plus intenses. L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) tire la sonnette d'alarme sur le danger de sécheresse qui guette la région de l'Afrique du Nord, la FAO explique que " L'Afrique du Nord compte parmi les zones les plus affectées par les pénuries d'eau au monde, avec le désert représentant les trois quarts de son territoire" et souligner que "même si la région est habituée aux phénomènes de sécheresse durant ces 4 dernières décennies, les sécheresses s'y sont généralisées et ont augmenté en durée et en fréquence, probablement en raison du changement climatique" et que Le Maroc et l'Algérie sont les plus touchés par le temps sec (FAO, 2000).

En Algérie, le changement climatique est à l'origine de fréquentes sécheresses, de la désertification et des problèmes de pénuries de nourriture et d'eau. Au cours des premiers mois de 2016, l'Algérie a dû faire face à une absence remarquable de précipitations qui a poussé le gouvernement à annoncer un niveau élevé de sécheresse (Stéphane, 2018).

Le nord-ouest de l'Algérie a connu dans les deux dernières décennies une sécheresse sévère caractérisée par des déficits pluviométriques variant de 12% à 20%.

La Tunisie a été effectuée en se basant sur plusieurs indices, Les résultats obtenus montrent que la méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage de 60 % d'années sèches. L'analyse fréquentielle révèle que la sécheresse est de classe modérée (35 %). La fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 55 %

D'années sèches sont formées de deux, trois ou cinq années sèches consécutives (Stéphane, 2018).

Les sorties des modèles CMIP3 et CMIP5 prévoient systématiquement une augmentation des sécheresses en Afrique du Nord, les changements les plus importants se produisant dans le nord-ouest. De même, les projections statistiques et dynamiques de réduction d'échelle montrent une forte augmentation du nombre et de l'intensité des mois de sécheresse et de la durée maximale des périodes de sécheresse pour le nord du Maroc et de l'Algérie, et des augmentations faibles à modérées pour les parties méditerranéennes de la Tunisie et de la Libye (Tramblay et al., 2020).

4. Gestion des risques liés aux sécheresses

Le risque peut être défini comme le produit de l'aléa et de la vulnérabilité, l'aléa étant « la probabilité d'occurrence d'un événement dommageable dans une période donnée », et la vulnérabilité exprimant les « conséquences possibles d'un événement dommageable sur la vie humaine, la santé, le bien-être ou l'environnement » (Balaghi et al., 2007).

Il découle de cette définition qu'il est possible de minimiser le risque de deux manières différentes : soit en réduisant l'aléa, soit en réduisant la vulnérabilité. Les moyens de réduire l'aléa lié au manque d'eau sont peu nombreux et peuvent inclure les pluies artificielles. Les moyens de réduire la vulnérabilité peuvent inclure le développement de l'irrigation, la gestion intégrée des ressources en eau, le développement et la diversification des écosystèmes, la formation des agriculteurs, les systèmes d'alerte précoce à la sécheresse et l'assurance agricole (Balaghi et al., 2007).

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le Secrétariat de la Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification (CNULCD) et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) à tenir du 11 au 15 mars 2013, à Genève, la Réunion de haut niveau sur les politiques nationales en matière de sécheresse (Engle et al., 2013). Le Programme veut parer à l'intensification du phénomène attendue dans de nombreuses régions du monde au cours du XXI^e siècle, en s'employant à renforcer l'adaptation au changement climatique, à diminuer les pertes pour la société et l'économie et à réduire la pauvreté dans les zones affectées. Il prône une approche intégrée qui rassemble une variété de secteurs, de disciplines et d'organismes et qui répond aux besoins particuliers des régions et des pays.

Le Programme souhaite établir une nouvelle culture de gestion anticipative qui s'attache à la préparation, la prévision et l'atténuation des impacts. **Les objectifs sont les suivants:**

- Étendre la compréhension scientifique de la sécheresse afin de mieux gérer le phénomène;
- Élargir la base de connaissance et l'accès à l'information et aux produits;
- Effectuer des évaluations des risques, assurer une surveillance, fournir des évaluations et des alertes précoces;
- Élaborer des politiques et des plans intersectoriels de préparation et d'atténuation des effets;
- Adopter des mesures de réduction des risques et d'intervention (OMM,2013).

Dix étapes à suivre pour établir une politique de gestion de la sécheresse et des plans de préparation sont les suivantes:

- ✓ **Étape 1:** Créer une commission chargée de la politique nationale de gestion de la sécheresse .
- ✓ **Étape 2:** Énoncer ou préciser les buts et les objectifs d'une politique nationale de gestion de la sécheresse fondée sur les risques.
- ✓ **Étape 3:** Inviter les parties intéressées à participer au processus, cerner et résoudre les conflits entre les principaux secteurs consommateurs des ressources en eau, sans négliger les aspects transfrontières.
- ✓ **Étape 4:** Recenser les données et les moyens financiers disponibles et identifier les groupes menacés.
- ✓ **Étape 5:** Définir les grands principes de la politique nationale de gestion de la sécheresse et des plans de préparation, notamment le suivi, l'alerte précoce et la prévision, l'évaluation des risques et des impacts, l'atténuation et l'intervention .
- ✓ **Étape 6:** Déterminer les recherches à entreprendre et combler les lacunes d'ordre institutionnel.
- ✓ **Étape 7:** Intégrer les aspects scientifiques et politiques de la gestion de la sécheresse.
- ✓ **Étape 8:** Faire connaître la politique nationale de gestion de la sécheresse et les plans de préparation, en expliquer le contenu et obtenir l'adhésion de la population .

- ✓ **Étape 9:** Élaborer des programmes de sensibilisation à l'intention de tous les groupes d'âge et de toutes les parties intéressées.
- ✓ **Étape 10:** Évaluer et revoir la politique nationale de gestion de la sécheresse et les plans de préparation.

chapitre III: Changement climatique et inondation

1. Définition

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités (Isaline et al., 2010).

2. Types d'inondations

2.1 . Inondations de plaines

Les inondations de plaine se produisent à la suite d'épisodes pluvieux océaniques prolongés, mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km²).

La rivière sort de son lit lentement et peut inonder la plaine pendant une période relativement longue. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente peut durer pendant plusieurs semaines.

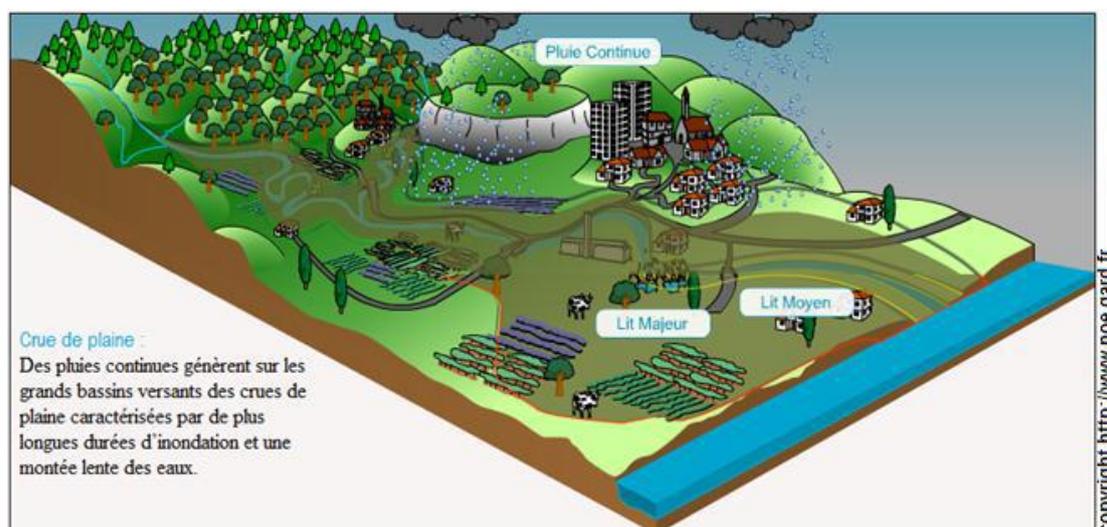


Figure7: Inondation de Plaine

Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion.

2.2. Inondations par remontées des nappes phréatiques

Selon l'Union Nationale des Centres Permanents D'initiatives pour l'Environnement (2014), les inondations par remontées des nappes phréatiques se produisent lorsque le niveau d'un cours d'eau s'élève au dessus de son lit normal, et déborde dans la plaine alluviale. Elles sont le plus souvent provoquées par le ruissellement de l'eau de pluie qui tombe sur le bassin versant, ou de l'eau provenant de la fonte des neiges lors des épisodes de redoux.



Figure 8 : inondations par remontées des nappes phréatiques (CPIE, 2014).

2.3. Inondations par ruissellement

Les processus de ruissellement se mettent en place dès que la pluviométrie dépasse la capacité d'absorption du sol. Le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes, donc L'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings, etc.) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement.

Il existe deux raisons empêchant les sols d'absorber l'eau :

- les sols sont déjà gorgés d'eau, saturés, ils ne peuvent en absorber davantage.
- les sols sont imperméables et l'eau ne peut pas s'infiltrer.

Ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise.



Figure 9 . Inondations du Gard (CPIE, 2014).

2.4. Inondations par rupture de digue

Une inondation par rupture de digue est particulièrement soudaine et violente. Plus on se trouve près de la digue endommagée, plus la vitesse et la hauteur d'eau sont importantes. Ces inondations sont très souvent dévastatrices et meurtrières car elles ne laissent que très peu de temps aux riverains pour se mettre à l'abri (CPIE ,2014).



Figure 10. Inondation par débordement au-dessus de la digue

(<http://enattendant-2012.blogspot.com/2012/01/bresil-campos-do-goytacazes-4000.html>).

2.5. Inondations marines

Les **submersions marines** sont une forme d'inondations temporaires qui affecte le littoral lorsque de grandes vagues provoquent l'entrée d'eau de mer à l'intérieur des terres lors d'une élévation du niveau de la mer. Plusieurs facteurs entrent en jeu :

- les coefficients de marée.
- la pression atmosphérique et le vent.
- la houle (les vagues).



Figure 11 .Vagues lors d'une tempête submergeant la cote (<https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>)

3. Inondations et changement climatique en zone sud méditerranéenne

Les inondations méditerranéennes sont connues depuis la plus haute Antiquité. Mais, dans tous les pays, elles deviennent un fléau de plus en plus redouté.

Dans le bassin méditerranéen, la hauteur des précipitations dépasse régulièrement 200 millimètres en 24 heures. Pour des événements plus intenses, cette hauteur peut être atteinte en moins de 6 heures. Mais, le plus souvent, la catastrophe survient à cause d'une vulnérabilité grandissante (Provitolo, 2007).

D'après (Nouri et al., 2016) le territoire algérien a toujours été touché par les inondations et que ces dernières surviennent surtout suite aux débordements des grands cours d'eau et dans les grandes plaines agricoles. Cependant, elles se manifestent de plus en plus fréquemment et subitement dans les grandes villes et les agglomérations urbaines.

En 2019, des pluies d'une rare violence ont traversé le nord de l'Afrique. En août, 2019 le Maroc a été touché par des orages violents entraînant des crues meurtrières. "L'inondation est le premier risque en termes de personnes tuées au niveau national", selon un rapport de 2016 sur les risques climatiques, rédigé par l'Institut royal des études stratégiques. Des inondations frappent régulièrement les régions isolées du Maroc, avec des crues subites capables de transformer les lits secs des oueds en torrents destructeurs. En 2014, des inondations liées à des pluies torrentielles avaient fait une cinquantaine de morts et des dégâts considérables dans le Sud (Filippi, 2019).

Les pluies, très attendues dans certaines régions où il n'avait pas plu depuis plusieurs mois, ont été particulièrement fortes dans le gouvernorat de Tunis. Selon l'Institut national de la

météorologie, cité par le site webdo.tn, il est tombé de 52 à 78 mm entre le 27 et le 28 octobre 2019. « Les quantités d'eau ont été d'autant plus importantes qu'elles se sont abattues durant un laps de temps très court », précise le site cité par Laurent Ribadeau Dumas, de **franceinfo Afrique**. Les études menées par Fehri en 2014, semble indiquer que l'inventaire des inondations ayant entraîné des dégâts matériels et/ou humains en Tunisie laisse voir une nette aggravation du risque hydrologique et ce notamment depuis le milieu du siècle passé. Au cours des cinq dernières décennies, elles auraient causé près de 800 morts et des pertes matérielles qui se chiffrent en centaines de millions de dinars tunisiens et qu'à travers les temps historiques, la fréquence des inondations en Tunisie aurait augmentée et que les dégâts engendrés par celles-ci seraient devenus de plus en plus lourds.

L'Italie a également été touchée par des inondations, avec notamment l'épisode du 9 au 12 novembre et le débordement du Lac Majeur, entraînant des pertes humaines (Florian et al., 2016), les météorologues craignent que le pire soit encore à venir.

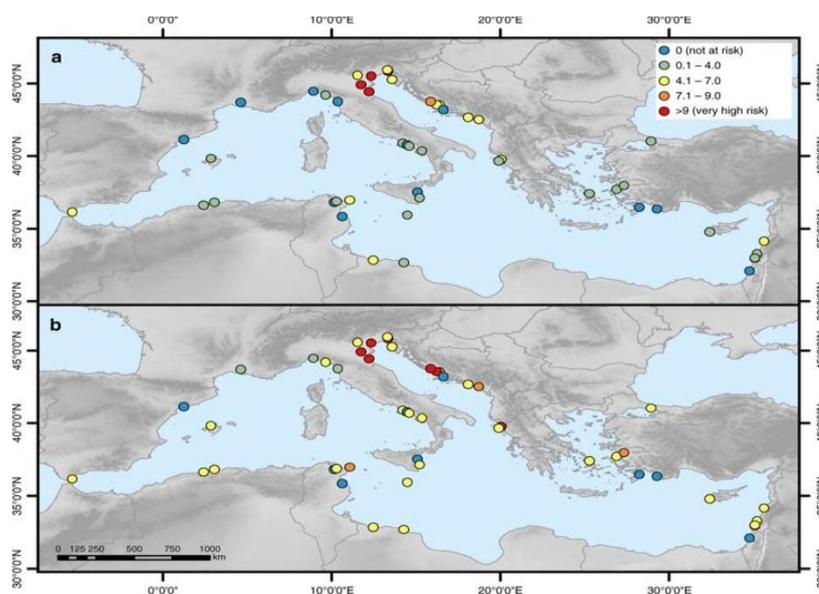


Figure 12 : Indice de risque d'inondation sur chaque site du patrimoine mondial : carte a, en 2000 ; et carte b, en 2100, dans le pire des quatre scénarios d'élévation du niveau de la mer.

<https://www.nationalgeographic.fr/archeologie/2018/11/le-patrimoine-mediterraneen-menace-par-la-montee-des-eaux>

Une équipe de géographes a dressé la liste des monuments du patrimoine mondial qui pourraient être touchés par l'élévation du niveau de la mer sur les côtes méditerranéennes d'ici la fin du siècle et les résultats montrent quel que soit le modèle prévisionnel envisagé, l'étude montre que 93 % des sites risquent de connaître des inondations. Trente-sept pourraient même être affectés par des inondations centennales, soit une crue ayant 1 % de chance d'avoir lieu tous les ans d'ici à la fin du siècle. Si l'on prend en compte le scénario le plus alarmiste, Venise et sa lagune, en Italie, les sites de la côte adriatique, notamment la vieille ville de Kotor, en Croatie, la ville punique de Kerkouane et sa nécropole, en Tunisie, Ephèse, en Turquie seraient particulièrement touchés par ce phénomène.

4. Gestion des risques liés aux inondations

4.1. Au niveau des espaces urbains

Pour lutter contre les préjudices causés par les inondations, des opérations sont proposées pour faciliter l'évacuation des eaux, elles visent

A limiter les submersions par :

a) L'entretien des cours d'eau:

Les atteintes causées par les inondations confirment l'intérêt d'un entretien régulier, où les embâcles risquent de se former en cas de crue au niveau des ouvrages de franchissement (telles les ponts), aggravant l'inondation des terres riveraines et détériorant les ouvrages (pont, voies ferrées...).

L'entretien des cours d'eau englobe l'enlèvement de la végétation présente dans le lit mineur et surtout l'enlèvement des embâcles (Djebali,2015).

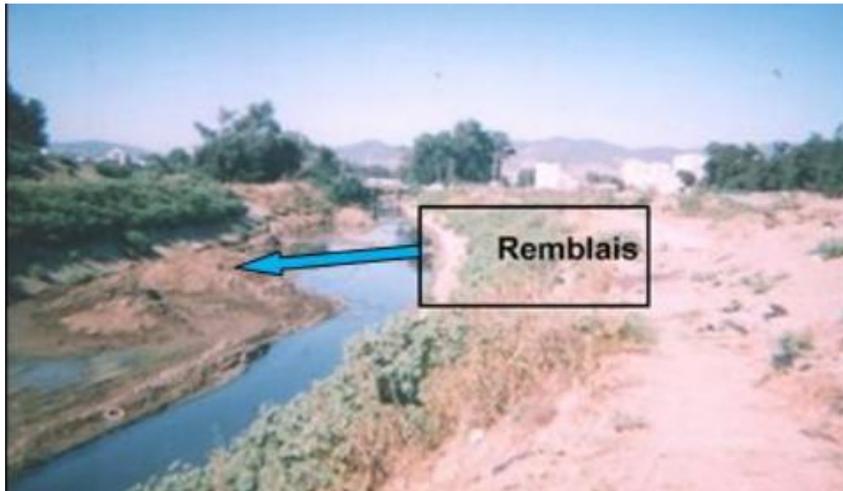


Figure 13 : Le jet des remblais dans les cours d'eau aboutit à des inondations liées aux embâcles (Boulghobra, 2006).

b) Construction des digues:

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables (Serre et al., 2006). Le degré de protection offert par une digue dépend de sa hauteur et de son type de construction.

La fiabilité d'une digue repose sur son inspection et son entretien continus (Boulghobra, 2006).



Figure 14: Digue dans le parc Brewer d'Ottawa Ontario (Canada) (Boulghobra, 2006).

Limiter l'érosion par :

a) Les enrochements :

Ils sont posés ou fixés le long des berges particulièrement soumises à l'érosion. Cette méthode est couramment utilisée dans les zones urbanisées et offre un bon niveau de protection (Djebali, 2015).



Figure 15 : Enrochement à Thuir (La trencade - France) (Boulghobra, 2006).

b) Les techniques végétales:

Le génie végétal représente aujourd'hui une solution « multi bénéfices », bien adaptée pour répondre à certaines politiques publiques environnementales, comme celle liée à la gestion des milieux aquatiques et à la prévention des inondations (Freddy Rey,2018).

- ✓ **Les épis :** Un épi est un talus en enrochement de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et provoque différents types de coursant. L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur. (djebali,2015).

4.2. Protection des édifices contre les crues

Pour protéger les structures riveraines contre les inondations, il faut recourir à quelques techniques de base :

- ✓ Rehausser les fondations au-dessus du niveau de crue, en utilisant un remblai ou des pieux.
- ✓ Enduire le pourtour de la structure de murs étanches en béton, ou l'entourer d'un talus.
- ✓ Placer les transformateurs électriques et téléphoniques ainsi que les systèmes mécaniques au-dessus du niveau de crue.
- ✓ Pour les nouvelles constructions, il faut surélever le bâtiment au-dessus du niveau de la crue centennale en rehaussant les terrains autour (Djebali, 2015).

Conclusion générale

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a identifié, dans son cinquième et dernier rapport global publié en 2013-2014, la Méditerranée comme une zone particulièrement exposée aux changements climatiques un des 25 « hot spots » (ou « points chauds »).

Même si la dernière décennie a été la plus chaude jamais enregistrée pour l'ensemble du bassin méditerranéen ; le réchauffement a été beaucoup plus prononcé dans certaines régions, notamment en Afrique du Nord et en particulier au Maghreb, l'Algérie, Tunisie. Les modèles climatiques montrent par ailleurs une nette tendance à une augmentation de température supérieure à 2°C avec une réduction continue du volume de précipitations sur une très grande partie du bassin durant la période 1951-2010 pouvant atteindre 40%.

Cette modification rapide devrait se traduire par une augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles comme les tempêtes, sécheresses et inondations.

Le (GIEC) prévoit à la fin du 21ème siècle et à l'échelle du bassin méditerranéen, une croissance de la température moyenne annuelle légèrement plus marquée qu'au niveau mondial et une diminution de la pluviométrie annuelle avec une intensification des phénomènes extrêmes de sécheresse et d'inondation dans le pourtour méditerranéen.

Référence bibliographique

Balaghi R., Jlibene M., Tychon B. et Mrabet, R.,(2007). Gestion du risque de sécheresse agricole au Maroc. Science et changements planétaires/Sécheresse.

Boucetta D., 2017. Effets des changements climatiques sur les cultures pratiquées et les ressources en eau dans la région de Biskra, 31p.

boulghobra N. (2006): Protection de la ville de Skikda contre l'inondation-essai de PPRI .

Chourghal N .,2016.Impacts des changements climatiques sur la culture de blé dur en Algérie. Thèse de doctorat en science Agronomique.

D serre .,L peyras. et R tourment .,(2006). Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations.

Deboukh A. et Becharef F.,2019. Etude de la sécheresse agricole dans le bassin de l'Algérois : Caractérisation et Occurrence, 14P.

Djebali Kh. (2015) :Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.AinDefla) .

Drobinski Ph.,2015. Modèles globaux ou régionaux : comment zoomer le climat ?.

Engle N., López Pérez M., Ait Kadi M. et Donald A., (2013). Lignes directrices pour une politique nationale de gestion de la sécheresse .p 4,10.

Freddy R.,2017. **Lutter contre les inondations grâce au « génie végétal ».**

IPCC (2007) Climate change 2007: the physical science basis, Contribution of working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change. Cambridge University Press, New York.

IPCC (2013) Climate Change 2013: The physical science basis, Contribution of working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change [Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA.

Isaline B., Madeleine B., Paul-Emile N. et Pierre P.,2010. Le risque inondation Le risque inondation en zone urbanisée, 4p.

Jacobeit. et Hertig E., 2007. Mediterranean rainfall changes and their causes.

Lajoie G., Houle D., et Blondlot A., 2016. Impacts de la sécheresse sur le secteur forestier québécois dans un climat variable et en évolution. Montréal, Québec.

Lauzeral Ch .,2012. Prédiction du potentiel d'invasion des espèces non natives par des modèles de niche : approches méthodologiques et applications aux poissons d'eau douce sur le territoire français ,9p.

Layelmam M., 2008. Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. LIFE05 TCY/TN/000150,6p.

OMM (2013) Organisation météorologique mondiale : Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2013.

Raymond F., Ullmann A., et Camberlin P.,2016. Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013 ?.

Samuel S.,2007. Modélisation climatique du bassin méditerranéen : variabilité et scénarios de changement climatique .Id. tel-00165252.

Stéphane P ., Guillaume d ., Antoine A ., Stéphane Q.et Laurent D.,2018. les défis du changement climatique en méditerranée : Le bassin méditerranéen dans le nouvel Agenda climatique international, Italie – ©ENERGIES 2050.

Tramblay Y., El Adlouni S. et Servat E .,2013 . Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries :Natural Hazards and Earth System Sciences.

Site Web

Futura planète . <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/meteorologie-secheresse-6527/>

Franceinfo.(2019) :En 2019, des pluies d'une rare violence ont traversé l'Afrique, semant la désolation sur le continent. https://www.francetvinfo.fr/monde/afrique/environnement-africain/en-2019-des-pluies-d-une-rare-violence-ont-traverse-l-afrique-semant-la-desolation-sur-le-continent_3688299.html

Franceinfo.(2019) : De gros dégâts en Tunisie en raison de violentes précipitations https://www.francetvinfo.fr/monde/afrique/environnement-africain/de-gros-degats-en-tunisie-en-raison-de-violentes-precipitations_3680153.html

organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.(2000) : La sécheresse en Afrique du Nord met en péril les récoltes <http://www.fao.org/nouvelle/global/gw0006-f.htm#:~:text=Les%20conditions%20de%20s%C3%A9cheresse%20cr%C3%A9ent,particulier%20pour%20les%20petits%20bergers%22.>