



Une initiative Euro-Méditerranéenne :
pour des sociétés résilientes
au climat et sobres en carbone

MANUEL N°7
Séminaires organisés à Lecce, Italie
9 - 20 mars 2015
2 - 6 novembre 2015



Mettre en relation la descente d'échelle, les impacts
et le développement de stratégies d'adaptation



Projet financé par
l'Union Européenne



Projet implementé par
AGRICONSULTING CONSORTIUM
Agriconsulting Agrer CMCC CIHEAM-IAM Bari
d'Appolonia Pescares Typsa Sviluppo Globale

MENTION LEGALE

Les informations et opinions contenues dans le présent document sont celles des auteurs, et, à ce titre, ne rendent pas forcément compte de la position officielle de l'Union européenne sur ces questions. L'Union européenne, ses institutions, ses organes, ou les personnes travaillant en leur nom, ne sauraient être tenus responsables de l'utilisation qui sera faite de ces informations.

Editeurs : l'équipe de ClimaSouth avec des contributions de E. Bucchignani, M. Montesarchio, A. Zollo, G. Rianna, N. Mancosu, V. Bacciu (experts CMCC), et M. Todorovic (IAM-Bari).

Conception : G.H. Mattravers Messana

Modèle graphique : Zoi Environment Network

Graphisme et mise en page : Raffaella Gemma

Directeurs de projet du Consortium Agriconsulting : Ottavio Novelli / Barbara Giannuzzi Savelli

Chef d'équipe ClimaSouth : Bernardo Sala

AVANT-PROPOS

La région méditerranéenne a été identifiée comme une zone sensible en termes de changements climatiques par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). La plupart des pays de la région connaissent déjà une montée des températures, une rareté de l'eau plus grande, une hausse de la fréquence des sécheresses et des feux de forêt, ainsi que des taux croissants de désertification. Une communauté de points de vue est donc en train d'émerger dans la région, selon laquelle la lutte contre les changements climatiques est essentielle, par des mesures à la fois d'atténuation et d'adaptation. Celles-ci pourraient aussi offrir de nouvelles opportunités de développement économique, en particulier celles associées à des options bas-carbone.

Le projet ClimaSouth, financé par l'UE, soutient l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques dans 9 pays du sud de la Méditerranée partenaires : l'Algérie, l'Égypte, Israël, la Jordanie, le Liban, la Lybie, le Maroc, la Palestine et la Tunisie. Le projet aide les pays partenaires et leurs administrations à mener la transition vers des sociétés bas-carbone tout en construisant la résilience face aux changements climatiques et en promouvant des opportunités de croissance économique durable et d'emploi. Le projet soutient aussi la coopération Sud-Sud et l'échange d'informations sur les questions de changement climatique dans la région, ainsi qu'un dialogue et un partenariat plus étroit avec l'Union Européenne.

Dans le cadre de ses efforts pour améliorer la planification stratégique en matière de changements climatiques, le projet ClimaSouth produit une série de manuels adaptés aux besoins de la région du sud de la Méditerranée. Les principaux utilisateurs visés sont en particulier les ministères au niveau opérationnel et politique, les équipes et comités changements climatiques,

les décideurs, les services météorologiques et les membres des gouvernements locaux, le secteur privé et la société civile. Les manuels de ClimaSouth sont basés sur des séminaires « par les pairs » accueillis par le projet, qui sont destinés à aider les administrations nationales à développer et mettre en œuvre des politiques sur les changements climatiques ; ils aident en outre les parties prenantes de la région à s'engager de façon plus efficace dans le cadre mondial d'action sur les changements climatiques.

Ce septième manuel capitalise sur le précédent manuel électronique ClimaSouth n°6 « Descendre l'échelle de la modélisation climatique pour des informations climatiques et une évaluation d'impact à haute résolution ». Il fournit une vue d'ensemble du spectre de la réduction d'échelle/les impacts/l'adaptation, en mettant en avant le rôle des données climatiques à haute résolution, et leur contribution à l'évaluation des capacités correspondantes nécessaires à des stratégies d'adaptation nationales. Les concepts sont illustrés essentiellement en mobilisant des échelles temporelles de changements climatiques plus longues et en particulier sur les impacts/l'adaptation en matière d'eau pour l'agriculture. Nous espérons que ce manuel contribuera à une compréhension globale de l'information sur le climat en descente d'échelle et de la gestion des risques dans toutes les échelles temporelles.

Puisse votre lecture être informative et intéressante.

Nicola Di Pietrantonio
 Commission Européenne
 Direction générale du voisinage et
 des négociations d'élargissement (DG NEAR)

Matthieu Ballu
 Commission Européenne
 Direction Générale Action
 pour le climat (DG-CLIMA)

MANUELS CLIMASOUTH

- Manuel N. 1 : Développements clés dans les politiques de lutte contre les changements climatiques
- Manuel N. 2 : Améliorer les informations sur le climat
- Manuel N. 3 : Introduction aux inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre (GES) - Mesure, Notification, Vérification (MNV)
- Manuel N. 4 : Planification à long terme des énergies de substitution (logiciel LEAP) et modélisation des Gaz à effet de serre (GES)
- Manuel N. 5 : Stratégie de développement bas-carbone (LEDS)
- Manuel N. 6 : Descendre l'échelle de la modélisation climatique pour une évaluation d'impact à haute résolution
- Manuel N. 7 : Mettre en relation la descente d'échelle, les impacts et le développement de stratégies d'adaptation

TABLE DES MATIÈRES

- Mention légale..... 2
- Avant-propos 3
- Liste d'acronymes choisis..... 5

- 1. INTRODUCTION 6
- 2. DESCENTE D'ÉCHELLE DYNAMIQUE 8
 - Concepts de base 8
 - Réflexions pour une utilisation efficace des informations en descente d'échelle dynamique 9
 - L'approche régionale de ClimaSouth et les données disponibles..... 11
- 3. LE DÉSÉQUILIBRE HYDRIQUE ET LA NÉCESSITÉ D'INFORMATIONS CLIMATIQUES À HAUTE RÉOLUTION POUR LES ÉVALUATIONS D'IMPACT 13
- 4. ADAPTATION ET LE RÔLE DES DONNÉES CLIMATIQUES À HAUTE RÉOLUTION 16
 - Introduction conceptuelle 16
 - L'adaptation de l'agriculture et le défi de l'eau 17
- 5. CONCLUSIONS 19
- 6. SÉLECTION DE LIENS INTERNET 21
- 7. RÉFÉRENCES 22

LISTE D'ACRONYMES CHOISIS

RE5	5 ^e Rapport d'évaluation du GIEC
CMCC	Centre euro-méditerranéen sur les changements climatiques
CORDEX	Expérience coordonnée de modélisation du climat régional
OPC	Outil de prévision climatique
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
RERE	Ressources en eau renouvelables extérieures
EURO-CORDEX	CORDEX - Europe
MCG	Modèle de Circulation Générale
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
RERD	Ressources en eau renouvelables domestiques
BI	Besoins d'irrigation
MED-CORDEX	CORDEX - Méditerranée
MENA-CORDEX	CORDEX - Moyen-Orient Afrique du Nord
PC	Ordinateur personnel (<i>Personal Computer</i>)
MCR	Modèle climatique régional
RCP	Profils représentatifs d'évolution des concentrations (<i>Representative Concentration Pathway</i>)
SIMETAW	Simulation d'évapotranspiration de l'eau appliquée (<i>Simulation of Evapotranspiration of Applied Water</i>)
RERT	Ressources en eau renouvelables totales
PMRC	Programme mondial de recherche sur le climat
LI	Lien Internet

1. INTRODUCTION

Le deuxième atelier ClimaSouth sur la modélisation du climat en descente d'échelle a été tenu grâce à la collaboration avec le CMCC, un partenaire technique majeur, du 2 au 6 novembre 2015 à Lecce en Italie. Cet atelier a abordé ensemble les concepts de descente d'échelle et d'évaluation d'impact à haute résolution, en capitalisant sur un atelier préalable (de mars 2015, voir le Manuel électronique ClimaSouth n°6⁴¹). Un thème majeur ayant émergé lors du deuxième atelier a été l'importance d'allier la descente d'échelle avec l'évaluation d'impact en vue de nourrir des stratégies d'adaptation, qui reposent souvent sur des actions au niveau local. Des scénarios climatiques à haute résolution spatiale plausibles sont essentiels pour perfectionner des stratégies d'adaptation robustes destinées à faire face aux changements climatiques d'aujourd'hui et des décennies à venir.

En plus de cours magistraux couvrant les sujets scientifiques clés, l'atelier a permis aux participants de faire des exercices d'évaluations d'impact en utilisant des scénarios climatiques en descente d'échelle. Dans certains cas, il s'agissait de la suite d'un travail d'analyse supervisé commencé avant l'atelier dans certains des pays partenaires. En effet, ce second atelier était la conclusion d'un programme intégré de ClimaSouth couvrant ces sujets, et comprenant notamment le premier atelier (Manuel électronique ClimaSouth n°6⁴¹) et des analyses ultérieures des participants réalisées dans leurs institutions d'origine sous la supervision et avec la collaboration d'experts du premier atelier.

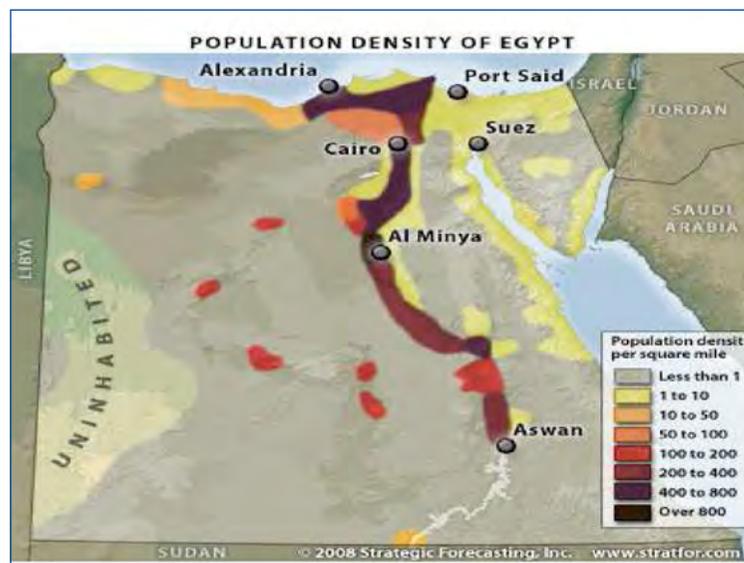


Figure 1. Densité de population en Égypte, démontrant les influences environnementales constatées dans la région Moyen Orient/ Afrique du Nord

(Telle que présentée par l'équipe de participants de l'Égypte dans leur analyse de la descente d'échelle/impacts/adaptation lors de l'atelier).

L'interface de descente d'échelle/impacts/adaptation est particulièrement cruciale pour la majeure partie de la zone couverte par le projet ClimaSouth, étant donnée la grande variation spatiale dans les conditions climatiques/environnementales, et la forte correspondance avec les activités sociales qui lui est associée. On peut notamment citer en exemple de forts gradients spatiaux de précipitations, températures, d'humidité du sol, de disponibilité en eau et de densité de population, tous fortement liés aux gradients allant des côtes méditerranéennes vers l'intérieur désertique, entrecoupés de variations liés aux grands cours d'eau, aux oasis et aux chaînes de montagne. La Fig. 1 montre, à titre d'exemple, la grande variation spatiale en termes

de densité de population en Egypte. Il est évident que la population, l'activité sociale et le bien-être humain seront très sensibles aux changements climatiques anticipés, et qu'une résolution spatiale élevée doit être incluse dans les projections de changements climatiques pour pouvoir évaluer correctement l'éventail des impacts possibles et permettre aux pays de la région de développer des stratégies d'adaptation robustes.

Ce manuel donne une vision d'ensemble des concepts du spectre descente d'échelle/impacts/adaptation. Il met en avant le rôle joué par les données climatiques à haute résolution et leur contribution à l'évaluation des capacités nécessaires au niveau de cette connexion clé pour les stratégies nationales d'adaptation. Il est essentiellement destiné aux décideurs politiques informés techniquement. Ce manuel a été préparé conjointement avec le Manuel électronique ClimaSouth n°6¹¹ qui a abordé de façon plus technique le sujet de la descente d'échelle/ des impacts et indiqué les références associées, visant une audience de professionnels impliqués dans des analyses de descente d'échelle/impact. Le premier manuel

couvre de façon plus concrète la descente d'échelle à la fois dans l'échelle de temps des changements climatiques et dans celle des prévisions saisonnières, et pour une série de questions sectorielles impactées. Ici, dans cette analyse plus courte, les concepts sont essentiellement illustrés en faisant appel aux échelles de temps longues des changements climatiques et en mettant l'accent sur les impacts/l'adaptation pour l'eau agricole.

Toutefois, la section 5 propose des conclusions issues de l'ensemble du programme, couvrant les informations climatiques avec descente d'échelle et la gestion du risque dans toutes les échelles de temps. L'équipe de ClimaSouth est reconnaissante aux experts du CMCC suivants pour leurs cours et le soutien apporté aux participants pour réaliser les analyses-exemples lors du second atelier : les experts climat E. Bucchignani, M. Montesarchio, A. Zollo et les experts impact/adaptation N. Mancosu et A.Trabucco. L'accès aux ressources informatiques du CMCC et l'expertise en matière de soutien technico-administratif à Lecce (Italie) ont également été essentiels au succès de l'atelier.



2. DESCENTE D'ÉCHELLE DYNAMIQUE

Concepts de base

Le réchauffement du système climatique au cours des décennies récentes est évident au vu des observations et est principalement lié à des concentrations croissantes de gaz à effet de serre (GES) anthropiques (GIEC, 2013). Par conséquent, les précipitations seront également modifiées, en partie parce que l'atmosphère, plus chaude, retiendra plus de vapeur d'eau, ce qui produira des pluies plus fortes. Le principal outil pour fournir un aperçu des changements climatiques futurs possibles est la *modélisation climatique*. Les modèles climatiques sont des modèles mathématiques stimulant le comportement des systèmes terrestres en se basant sur les lois fondamentales de la physique. De façon plus générale, les Modèles de circulation générale (MCG) sont des modèles informatiques qui représentent mathématiquement différents processus physiques du système climatique mondial. Ces processus sont généralement bien connus, mais il arrive fréquemment qu'ils ne puissent pas être pleinement représentés dans les modèles en raison des limitations des ressources informatiques et de celles des données de départ. Par conséquent, les résultats des MCG doivent seulement être considérés, aux échelles mondiales ou continentales, comme une moyenne des conditions climatiques, qu'elle soit mensuelle, saisonnière, annuelle ou à d'autres échelles plus longues.

Afin de répondre aux besoins des décideurs de concevoir des plans en fonction des changements climatiques, une

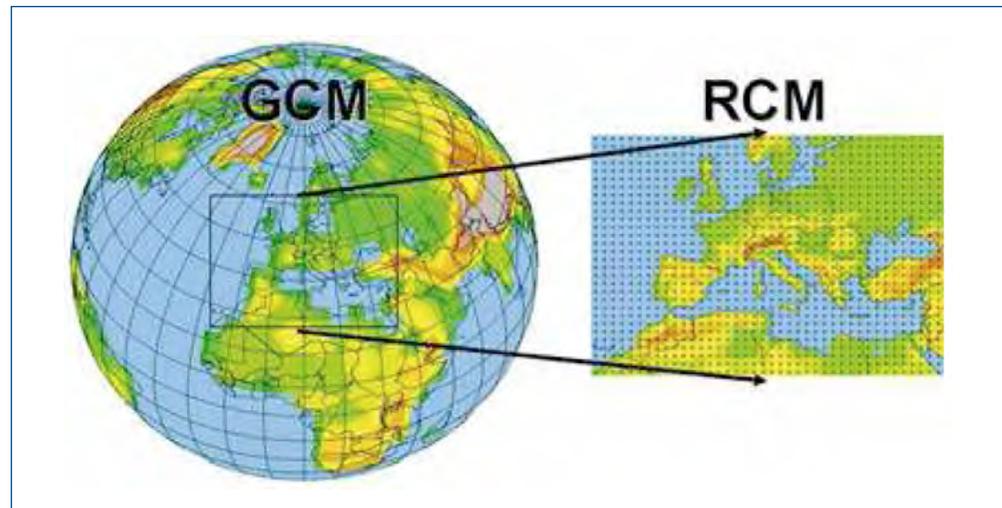


Figure 2. Représentation schématique de la technique de descente d'échelle dynamique.

gamme d'outils et de bases de données a été développée afin de fournir des informations climatiques à des échelles spatiales et temporelles beaucoup plus fines que celles auxquelles les projections mondiales sont faites. Le processus utilisé pour obtenir des informations climatiques à une définition plus élevée que celle des autres MCG est appelée « descente d'échelle » (Fig.2).

La méthode de descente d'échelle peut être divisée en deux catégories principales :

- *les méthodes statistiques*, qui appliquent des transformations statistiques aux résultats du MCG sur la base de relations calculées à partir d'observations ;

- *les méthodes dynamiques*, qui calculent explicitement la dynamique physique basée sur les processus du système climatique régional à une haute résolution spatiale. L'un des outils les plus efficaces, qui fournit une analyse climatique à haute résolution à travers la descente d'échelle dynamique, est le Modèle climatique régional (MCR) (Giorgi et Mearns 1991).

On utilise des méthodes statistiques pour obtenir des informations climatiques à très haute résolution (environ 100 m) en partant des résultats des MCR. Le présent manuel se concentre principalement sur les méthodes dynamiques, même si la plupart des réflexions qui suivent s'appliquent également aux méthodes statistiques (voir le Manuel électronique ClimaSouth n°6^{L1}).

Réflexions pour une utilisation efficace des informations en descente d'échelle dynamique

Bien qu'elle produit des informations climatiques à des échelles plus fines que les projections initiales, la descente d'échelle nécessite d'informations, données et hypothèses supplémentaires : celles-ci conduisent à de nouvelles incertitudes et limites en termes de résultats. Certains des inconvénients de la descente d'échelle dynamique sont :

- *La descente d'échelle dynamique a un coût numérique élevé, et nécessite d'importantes ressources informatiques.*
- *La descente d'échelle dynamique est fortement dépendante des conditions limites fournies par les MCG. (Les MCG peuvent tout simplement faire des prévisions in-*

correctes des conditions futures à grande échelle. De plus, les MCG ne sont pas contraints par les observations atmosphériques faites pendant leur intégration, et peuvent donc produire des erreurs systématiques, ce qui peut contribuer à des erreurs dans les MCR).

- *La résolution spatiale de la plupart des MCR de la génération actuelle est limitée à 1 km, (en raison de l'énorme quantité de ressources informatiques nécessaires pour des grilles plus fines, et aussi des difficultés qu'ont les modèles numériques appropriés pour certains processus avec de telles valeurs de résolution).*
- *La difficulté de modéliser des processus climatiques à haute résolution ajoute à l'incertitude liée aux projections haute résolution des MCR. Il convient de consulter l'intégration des résultats de différents MCR afin d'aider à évaluer ces incertitudes.*

Une source d'incertitude majeure dans les MCR vient du grand nombre de processus physiques paramétrés dans le modèle climatique et les paramètres du modèle en milieu ouvert associés.

Différentes études ont montré l'importance de cette « incertitude paramétrique » pour la simulation de climats présents et futurs. Celle-ci perturbe des paramètres simples et multiples du modèle au sein de séries de paramètres plausibles déterminés par jugement d'expert (Giorgi et Mearns 1991).

Dans la mesure où les paramètres incertains du modèle sont la cause d'une grande partie des erreurs de modélisation, l'incertitude paramétrique est habituellement limitée par des méthodes de calibration ou d'ajustement

Encadré 1. Paramétrage

Les modèles climatiques sont basés sur un système d'équations principales. Toutefois, ces équations ne sont pas suffisantes pour fournir une description complète des phénomènes qui se déroulent dans l'atmosphère. Certains phénomènes, comme la diffusion atmosphérique turbulente, l'interaction avec l'orographie et la convection ont des impacts significatifs et ne peuvent être négligés. Afin d'améliorer la qualité des prévisions du modèle, il est important d'inclure les effets statistiques de ces phénomènes. Le paramétrage est une technique qui, utilisant des sous-modèles simplifiés, permet la représentation des effets d'un processus au lieu de modéliser le processus lui-même.

afin d'améliorer l'adéquation entre le modèle climatique et les observations disponibles. Le processus d'ajustement est l'un des aspects qui nécessite des ressources techniques hautement qualifiées afin d'exécuter et d'entretenir le MCR.

Les organisations internationales ne fournissent actuellement pas de lignes directrices officielles pour aider les chercheurs, les praticiens et les décideurs à déterminer les paramètres de projection climatiques, les méthodes de descente d'échelle, et les sources de données qui répondent le mieux à leurs besoins. Dans la mesure où la communauté de la recherche est toujours en train de développer des méthodes de descente d'échelle, les utilisateurs ont souvent besoin de lire des explications techniques et spécialisées afin de comprendre et d'appliquer de façon adéquate les résultats pour les études d'impact, la planification et la prise de décision.

Les points suivants fournissent quelques réflexions et recommandations importantes qui doivent être gardées à l'esprit lorsque l'on utilise/conçoit des outils d'information à échelle fine pour étudier les changements climatiques et leurs impacts :

- La descente d'échelle se base sur l'hypothèse selon laquelle le climat local résulte de la combinaison de conditions locales (topographie, propriétés de surface des sols etc.) et des caractéristiques atmosphériques à grande échelle (mondiales, continentales, régionales). La représentation des facteurs locaux se situe au-delà de la capacité des MCG actuels.
- Obtenir des projections climatiques aux échelles locales est un processus à étapes multiples. A chacune d'elles, on fait des hypothèses et des approximations.

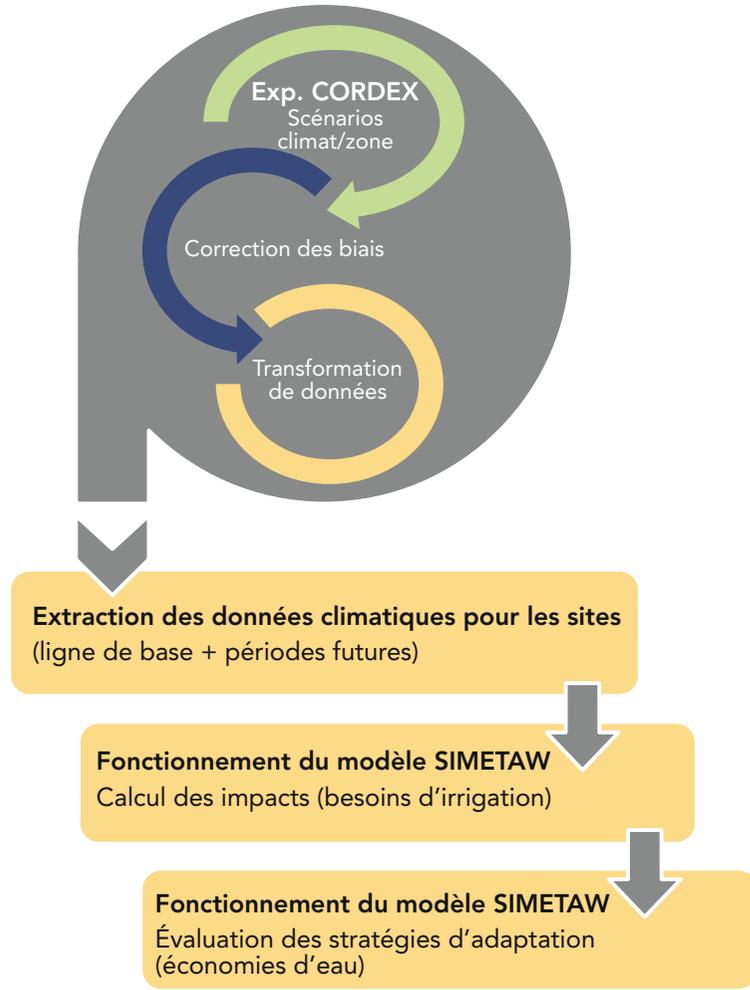


Figure 3. Schéma des impacts/activités en descente d'échelle appliqués aux cas d'études abordés dans les ateliers ClimaSouth et à certaines analyses faites par les participants dans le cadre d'exercices menés au niveau national dans la continuation de l'atelier.

Les incertitudes sont intrinsèques aux projections de changements du climat et de leurs impacts (voir Fig.5 et la discussion qui lui est relative dans la Section 3).

- Lorsque l'information en descente d'échelle est présentée, en appui des informations sur les méthodes de descente d'échelle utilisées, les limites des résultats ne sont souvent pas suffisamment soulignées, ce qui amène l'utilisateur à croire que les résultats à une résolution donnée sont « vrais » et valides (c'est-à-dire ne nécessitant pas d'autres ajustements). Alors qu'au contraire, l'information en descente d'échelle nécessite habituellement de nouvelles corrections statistiques avant d'être utilisées dans des évaluations d'impact (voir le Manuel ClimaSouth électronique n°6^{L1}, Section 2.5, et la façon dont le sujet a été présenté aux participants des ateliers ; voir Fig.3).

L'approche régionale de ClimaSouth et les données disponibles

Le territoire couvert par le projet ClimaSouth est situé dans une zone de transition entre les climats arides de l'Afrique du Nord et les climats tempérés d'Europe centrale. L'anticipation des changements climatiques dans la région est encore compliquée par l'existence d'une importante mer fermée (la Méditerranée) avec une circulation océanique (thermohaline) régionale très active, et une liaison avec l'Océan Atlantique à travers le détroit de Gibraltar. Toutefois, il est déjà parfaitement clair que la grande région Méditerranée est très sensible aux changements climatiques causés par l'augmentation des concentrations de GES et a été identifiée comme

un « point sensible » pour les futurs changements climatiques. Des impacts majeurs sur la société sont anticipés, notamment sur l'agriculture, le tourisme et les ressources en eau. Beaucoup de projections de changement climatique de MCG ont été analysées pour la Méditerranée sous différents scénarios de forçage des GES.

Un tableau généralement cohérent a émergé des dernières évaluations du GIEC, culminant dans le récent RE5 (GIEC 2013). Dans l'ensemble, on anticipe des conditions plus sèches et des températures plus élevées : ces conditions sont particulièrement manifestes pendant l'été. Dans la zone méditerranéenne, la descente d'échelle est particulièrement importante pour évaluer les changements climatiques régionaux, dans la mesure où la région est caractérisée par une grande variabilité des espaces et de nombreux types de climat. Certaines des caractéristiques que les MCR doivent représenter pour générer de bonnes informations en descente d'échelle dans le ressort de ClimaSouth sont notamment :

- De forts contrastes littoral-intérieur des terres
- Des rétroactions terre-atmosphère (notamment la représentation des effets d'albédo)
- Des couplages air-mer intenses
- Des interactions aérosols-radiations

Il s'agit là juste de quelques-unes des caractéristiques régionales qui posent défi qui doivent être prises en compte lorsque l'on s'occupe de modélisation climatique à haute résolution dans la région. Le projet PMRC CORDEX^{L2} (Giorgi et al. 2009) archive de nombreuses simula-

tions de MCR de pointe et pertinentes fonctionnant avec les nouveaux scénarios d'émissions « Profils représentatifs d'évolution des concentrations » (RCP) (van Vuuren et al. 2011). Les participants aux ateliers ClimaSouth ont vu comment accéder aux expériences avec des données pour la région, notamment dans les domaines de MED-CORDEX, EURO-CORDEX (qui couvre la plupart du domaine de ClimaSouth à une résolution de 10m) et MENA-CORDEX. L'analyse de multiples modèles et ensembles du même modèle (fonctionnant avec des petites modifications dans les conditions initiales) est important pour construire une impression d'incertitude, qui est une composante importante pour parvenir à des actions d'adaptation appropriées (selon par ex. Vermeulen et al. 2013).



3. LE DÉSÉQUILIBRE HYDRIQUE ET LA NÉCESSITÉ D'INFORMATIONS CLIMATIQUES À HAUTE RÉOLUTION POUR LES ÉVALUATIONS D'IMPACT

La rareté de l'eau est l'un des problèmes mondiaux majeurs aujourd'hui, et à cause du contexte environnemental et des projections de changements climatiques pour le Moyen Orient et l'Afrique du Nord (MENA), il deviendra encore plus prégnant dans cette région à l'avenir (selon par ex. Wallace 2000 ; Rockström et al. 2009). L'eau agricole a donc été choisie par le projet ClimaSouth pour illustrer les liens entre la descente d'échelle et l'évaluation d'impact (en vue d'informer et appuyer des stratégies d'adaptation). De fait, des modifications dans les régimes de précipitations, l'intensité et la fréquence des événements extrêmes, l'humidité du sol, le ruissellement et l'évapotranspiration ont déjà eu lieu (Jiménez Cisneros et al. 2014). A l'avenir, les zones agricoles devraient, selon les prévisions, se réduire avec des changements dans les systèmes de culture (résumé dans la Fig.4).

A cause des déficits en eau anticipés et de la nature de l'agriculture dans la région, il est nécessaire de focaliser l'attention sur les besoins d'irrigation (BI). Les modèles d'équilibre de l'eau sont un outil approprié pour aider les organismes chargés de l'eau à mieux gérer les ressources en eau agricole. En effet, l'utilisation de données climatiques comme données d'entrée dans de tels modèles d'impact permettent de les utiliser à la fois pour simuler les besoins actuels et futurs en eau et les rendements associés. Toutefois, la pertinence des résultats du modèle dépend de

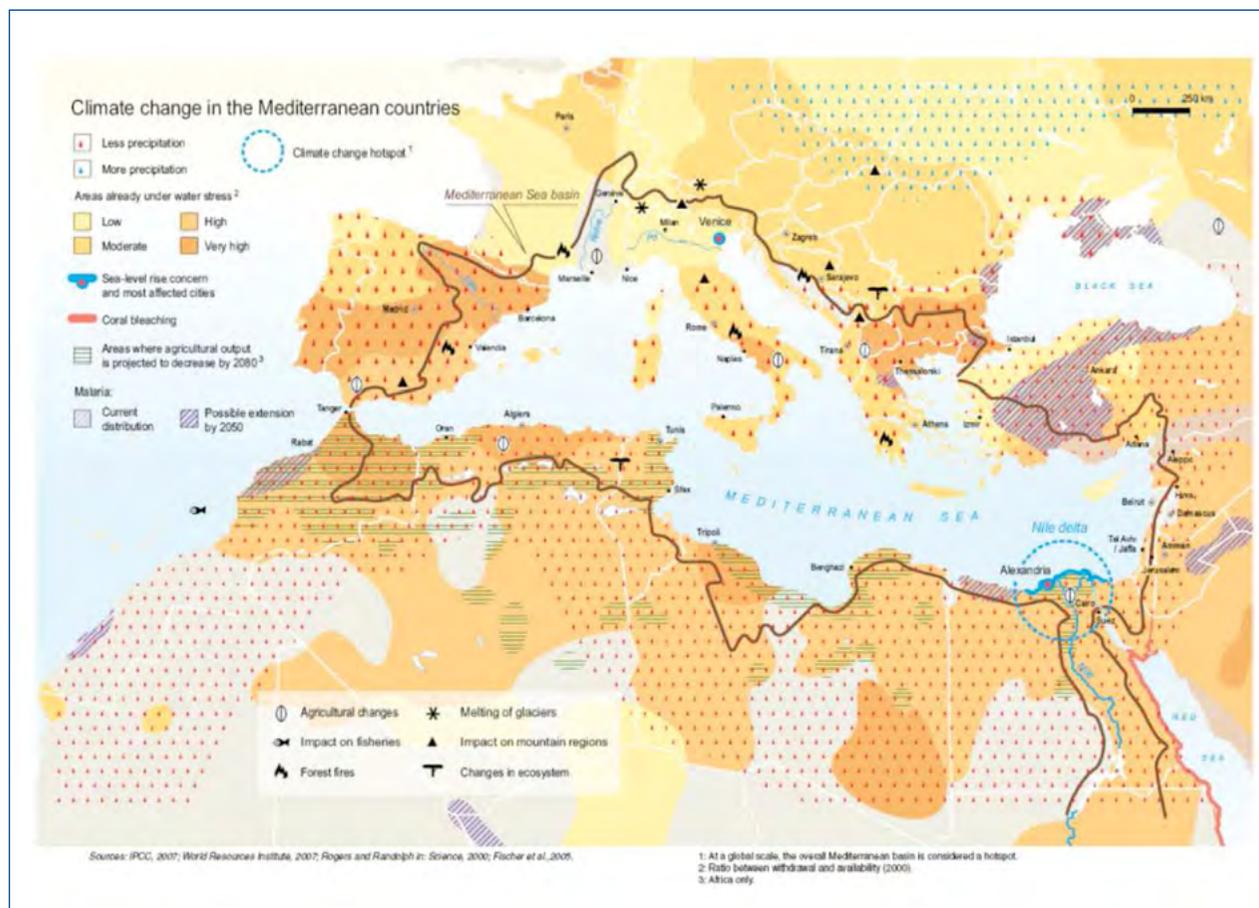


Figure 4. Projection des impacts des changements climatiques dans le bassin méditerranéen (Basée sur : MED-SEC 2009).

la fiabilité des données climatiques, et en particulier de leur résolution. Dans la mesure où de nombreuses étapes de modélisation sont nécessaires, depuis le développement d'un scénario d'émissions futures aux évaluations d'impact, il existe une incertitude croissante tout au long du flux d'informations (Fig.5).

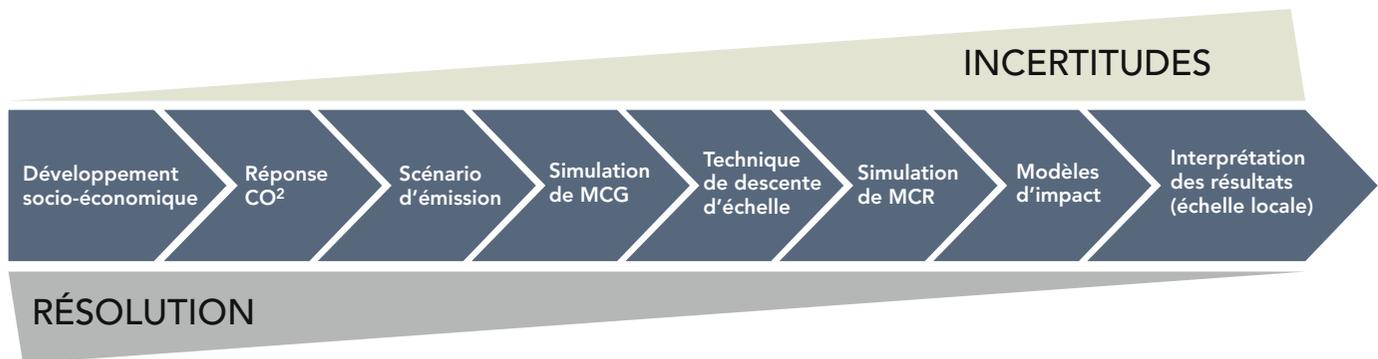


Figure 5. Flux d'incertitude croissante, depuis les hypothèses socio-économiques jusqu'à l'interprétation des résultats d'impact, allant des MCG aux MCR.

Néanmoins, les données climatiques à haute résolution sont essentielles pour modéliser de façon efficace les conditions locales. L'utilisation de données climatiques à haute résolution quantifie les impacts des changements climatiques spécifiques au site, qui sont nécessaires pour développer des plans stratégiques d'adaptation plus pertinents. Dans le cadre des ateliers ClimaSouth, les participants ont vu comment mettre en œuvre de telles analyses, en transformant les résultats des expériences de descente d'échelle dynamiques issues de CORDEX pour minimiser les biais et l'incertitude, et pour faire des évaluations de besoins futurs en irrigation à une résolution spatiale élevée dans des lieux donnés de la zone couverte par le projet ClimaSouth (voir Fig. 3).

L'utilisation de données climatiques développées par différents MCG et différents MCR/approches statistiques en descente d'échelle est une façon de prendre en compte certaines incertitudes en matière d'impacts des changements climatiques sur les besoins d'irrigation futurs. Reconnaître les incertitudes est nécessaire pour pouvoir

gérer la gamme des conditions climatiques futures plausibles. De cette façon, il est possible de contrebalancer certains des impacts des changements climatiques sur l'agriculture en mettant en œuvre des stratégies d'adaptation site-spécifiques.

Lorsqu'ils sont intégrés jusqu'au niveau national, les pays de la région MENA présentent des besoins futurs représentant un défi particulièrement grand en comparaison avec la plupart des autres régions du monde. Pour chaque pays, les *Ressources en eau renouvelables totales* (RERT) sont la somme de (i) les *Ressources en eau renouvelables domestiques* (RERD), c'est-à-dire les ressources en eau douce générées par les précipitations dans un pays donné et (ii) les *Ressources en eau renouvelables extérieures* (RERE), c'est-à-dire les ressources en eau douce provenant des pays en amont à travers les cours d'eau ou les aquifères, que ce soit naturellement ou par le biais de traités formels et informels (FAO/BRGM 1996). Dans les pays de la région MENA, les RERT par habitant sont inférieures à 500m³ (FAO/BRGM 1996), un niveau qui cor-

respond au seuil de rareté de l'eau (Falkenmark, 1986). En termes de RERD (Fig.6), les pays MENA sont considérés être parmi les cas les plus critiques, avec des valeurs allant de 0 à 1000 m³ an⁻¹ par personne, alors que le seuil de 1000 m³ an⁻¹ par habitant est considéré comme le niveau de stress hydrique.

Les modèles d'équilibre de l'eau (tels qu'ils sont mis en œuvre dans le schéma de la Fig.3) alimentent les outils d'aide à la décision pour les systèmes de gestion au niveau régional et à celui des exploitations ; ils sont donc utiles pour gérer des systèmes d'agriculture durable. Les organismes de distribution d'eau utilisent les BI conjointement à l'efficacité de la distribution du système d'irrigation pour estimer les détournements d'eau nécessaires à l'irrigation.

L'information climatique en descente d'échelle est par conséquent essentielle pour pouvoir évaluer les BI dans les systèmes d'irrigation et la gestion de la ressource en eau en temps réel (par ex. pour aider à gérer les sécheresses en temps réel). Elle contribue aussi à l'évaluation de la gamme des profils futurs des BI qui peuvent constituer une source d'information pour le développement de stratégies d'adaptation robustes pour l'avenir.

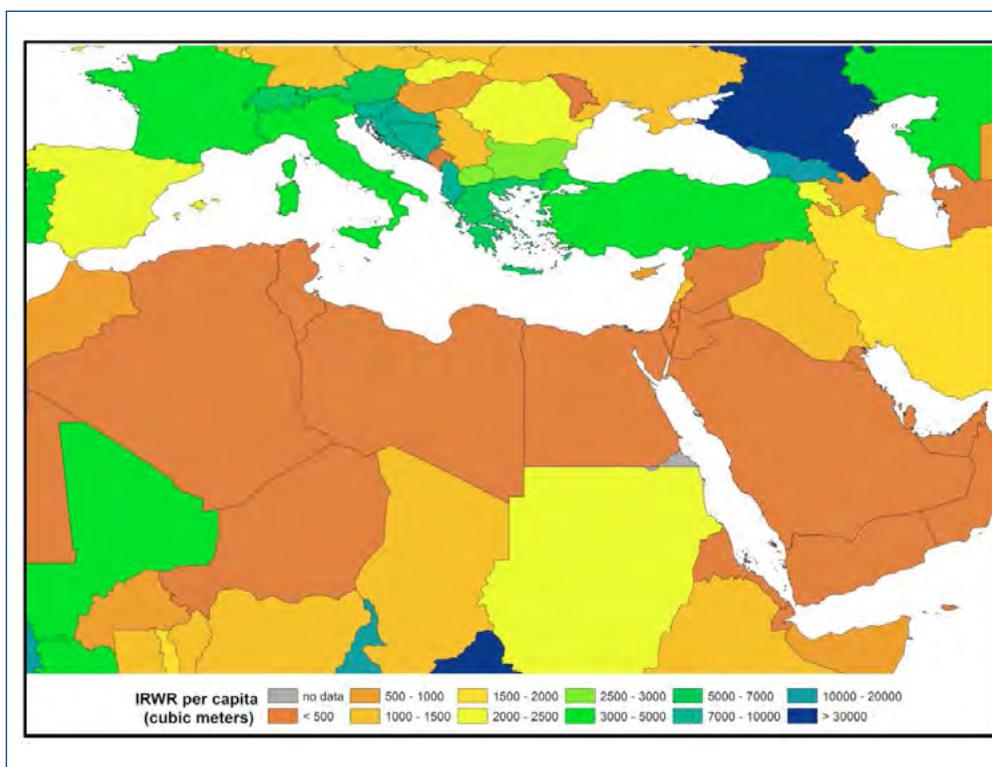


Figure 6. Carte des ressources en eau renouvelables domestiques (RERD) par personne dans chaque pays en 2012

(Source: Mancosu et al. 2015).

4. L'ADAPTATION ET LE RÔLE DES DONNÉES CLIMATIQUES À HAUTE RÉOLUTION

Introduction conceptuelle

Alors que l'atténuation implique en premier lieu la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, l'adaptation consiste à procéder à un ajustement des activités humaines et des processus productifs de façon à réduire leur vulnérabilité aux effets néfastes des changements climatiques actuels ou anticipés. L'atténuation est une dimension qui est contrôlée et encouragée de façon plus efficace au niveau mondial à travers des efforts internationaux coordonnés ; tandis que l'adaptation est généralement promue et mise en œuvre localement au sein d'activités in situ spécifiques qui sont sensibles aux changements climatiques. L'adaptation est donc une source de demande forte pour des informations climatiques locales, c'est-à-dire la capacité de descendre l'échelle des résultats des MCG.

Parmi les facteurs clés de changements mondiaux liés à l'adaptation figurent notamment les risques, l'exposition et la vulnérabilité. Tous ont d'importantes caractéristiques à l'échelle spatiale de la haute résolution. Certaines de ces caractéristiques relèvent des informations climatiques (par ex. les événements de précipitations à haute résolution 1-10 km) alors que d'autres relèvent du récepteur (par ex. des éléments structurels ou des activités socio-économiques menacés en raison des risques

climatiques). En ce qui concerne la cartographie des risques, il est important d'ajouter des informations climatiques aux informations haute résolution sur le récepteur. Ceci pourrait impliquer la mise en place de bases de données en matière d'utilisation/occupation des terres pour la localisation de populations, de ressources environnementales, d'infrastructures, de biens sociaux, économiques ou culturels qui pourraient potentiellement être exposés à un risque climatique donné. En outre, il serait également important d'évaluer le degré auquel le récepteur pourrait être affecté, que ce soit négativement ou positivement, par les stimuli liés au climat.

A titre d'exemple, et pour montrer clairement l'intérêt des données climatiques en haute résolution, la Fig. 7 a-b montre un scénario de changement climatique en matière de températures de surface (2071-2100 comparés aux conditions actuelles) en été et automne, basé sur l'une des archives de CORDEX (telle qu'analysée lors du premier atelier par le participant tunisien ; voir le Manuel électronique ClimaSouth n°6⁴¹ pour plus de détails). Le résultat montre à la fois une hétérogénéité spatiale et une variabilité qui sont fonctions de l'époque de l'année. La Fig. 7c fournit une estimation de la distribution spatiale des activités d'utilisation des terres (révélatrices du récepteur). Les cartes de changements des températures journalières moyennes ainsi que celles de l'utilisation des terres

montrent une extrême variabilité spatiale, lorsqu'exprimées avec des données en haute résolution (données climatiques à 10km et données d'utilisation des terres à 1km). L'évaluation des risques avec une telle résolution permet d'identifier de façon plus précise les typologies de récoltes ou les infrastructures vulnérables, et prioriser les zones cibles ou les activités qui devraient devenir des points sensibles pour les politiques d'adaptation et les initiatives de soutien pour faire face aux changements climatiques.

L'adaptation de l'agriculture et le défi de l'eau

Comme cela est décrit dans la Section 3, la disponibilité en eau dans un contexte de changements climatiques devrait fortement affecter l'agriculture. Les parties prenantes et les décideurs doivent faire face au risque de baisses du rendement des cultures en raison d'une disponibilité en eau insuffisante, ou des mauvaises récoltes de certaines variétés de cultures si elles ne sont pas résistantes à la sécheresse. En outre, des températures plus élevées et une accumulation de chaleur plus rapide par les plantes peuvent favoriser des cultures ou des variétés différentes, mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Les institutions publiques doivent encourager la mise en place de programmes pour faire des recherches et répandre les connaissances concernant les nouveaux cultivars et leur bonne gestion, et faire des démonstrations de pratiques agronomiques plus efficaces. Le décalage des dates de semis/récolte peuvent aussi constituer une stratégie pour l'adaptation des cultures les plus vulnérables dans une fenêtre temporelle mieux adaptée à leur développement, de même que la recherche

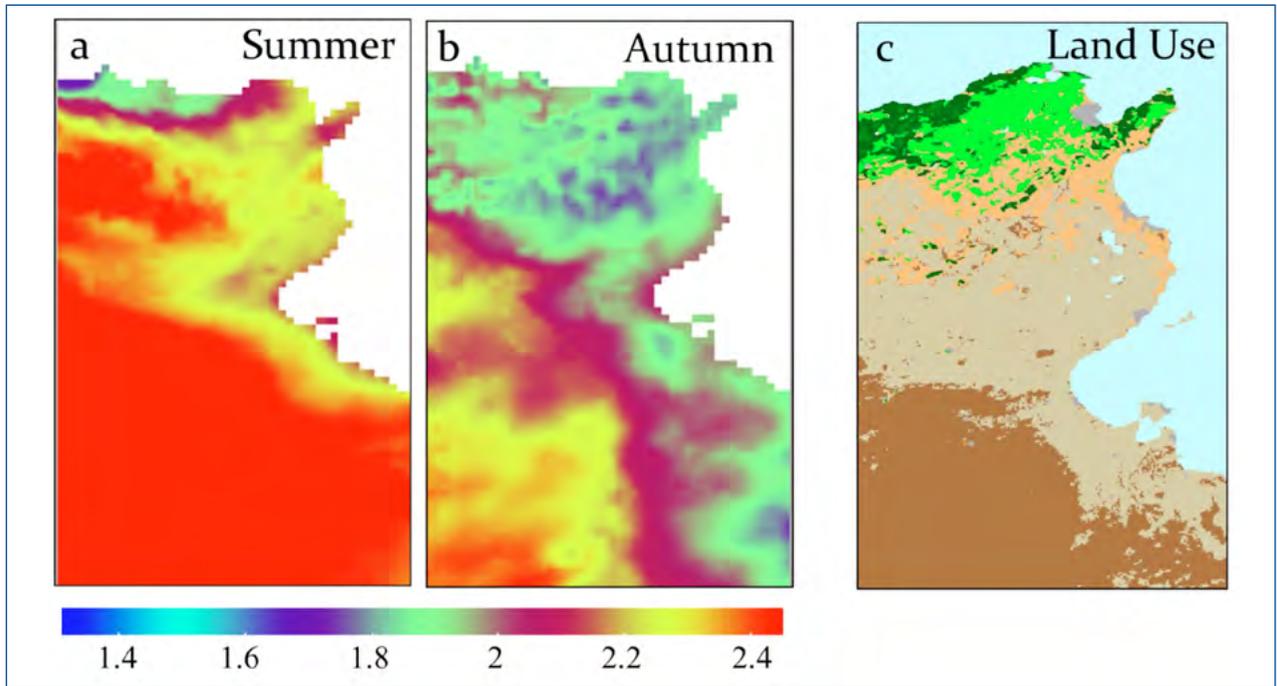


Figure 7. (a-b) Variations moyennes des températures de surface journalières (degrés Celsius) d'ici 2071-2100 en Tunisie (exemple issu des données d'EURO-CORDEX, résolution d'environ 10 km) en été et en automne. (c) Distribution des activités d'utilisation des terres (révélatrices du récepteur) en Tunisie (GLC2000, année 2000, résolution 1 km), où le marron foncé indique des surfaces nues ; le marron clair, de la végétation éparse ; l'orange, un couvert arbustif ; le vert clair, des zones cultivées et le vert foncé, de la forêt.

de sources d'eau alternatives potentielles (par ex. les eaux usées) et le fait de favoriser leur utilisation. Ces actions représentent des stratégies d'ajustement à long terme. Ils demandent des scénarios de changements climatiques en haute résolution (comme Fig. 7a-b) et des connaissances sur l'usage local de l'eau afin d'établir des actions énergiques au niveau local. Une autre façon de répondre au défi des changements climatiques est de développer/améliorer les services d'alerte météorologique de façon à activer des ap-

plications d'irrigation au moment approprié. Cela demande également des informations climatiques à haute résolution, en termes de surveillance en temps réel et de prévisions saisonnières (comme discuté dans le Manuel électronique ClimaSouth n°6^{LI}, Section 3).

La réponse d'adaptation doit être multisectorielle et intégrée, et le rôle de l'information climatique à haute résolution doit être à la fois généralisé et homogène.

Les mesures d'adaptation peuvent être soutenues par des politiques agricoles promouvant l'étude et le développement de systèmes d'irrigation optimisant l'entrée de l'eau (par ex. irrigation d'urgence) et réduisant les pertes dans la distribution d'eau, tout en maintenant la productivité des cultures dans un contexte de changements climatiques.

En outre, afin d'améliorer l'efficacité de l'usage de l'eau, des techniques pour améliorer la fertilité du sol et sa capacité de rétention d'eau doivent être promues (par ex. perturbation mécanique du sol minimale) de même que la recherche sur de nouveaux cultivars potentiels, et leur présentation, ainsi que leur gestion adéquate et des pratiques agricoles plus efficaces. Toutefois, l'introduction coûteuse de nouvelles technologies requièrent un meilleur lien avec les programmes de financement, ainsi que la disponibilité de connaissances approfondies en matière de gestion efficace, de façon à ce que les interventions soient efficaces en termes de coûts. Les programmes de développement rural et autres plans de financement régionaux/locaux pourraient être mobilisés pour soutenir le processus.



5. CONCLUSIONS

L'atelier sur la descente d'échelle a traité d'un déficit majeur perçu dans le processus de traduction du savoir en matière climatique en informations climatiques pratiques qui pourraient aider au développement d'actions d'adaptation possibles. Les participants des pays partenaires de ClimaSouth ont bénéficié de cours qui ont couvert l'ensemble des techniques de descente d'échelle technique. On a fortement mis l'accent sur l'interprétation des incertitudes et l'intégration appropriée d'informations à haute résolution (en descente d'échelle) dans les évaluations d'impact.

L'adaptation suppose la mise en place d'actions pour améliorer la résilience des sociétés face à d'éventuels changements climatiques sur des horizons de relativement long terme (comme 2030-2100). Toutefois, le climat change déjà, ce qui amène des phénomènes météorologiques extrêmes et des événements climatiques saisonniers tels que les inondations et les sécheresses de magnitude et de fréquence sans précédents. Par conséquent, l'adaptation nécessite aussi l'amélioration des systèmes d'alerte précoce pour mieux gérer les événements climatiques individuels alors qu'ils surviennent en temps réel. Il existe donc un besoin en matière d'informations climatiques à haute résolution basées sur (i) des scénarios pour le long terme (par ex. 2030-2100), (ii) des anticipations pour la saison à venir (« prévisions saisonnières »), (iii) des informations contrôlées pour des évaluations à très court terme. De façon générale,

ce manuel s'est concentré sur l'option (i), en particulier sur l'eau agricole. Les concepts sont largement transférables à travers les échelles de temps (les Manuels électroniques ClimaSouth n°6^{L11} et n°6^{L13} contiennent plus de détail sur (ii) et (iii)). Il serait important d'avoir la capacité de générer des informations à chacune des échelles de temps pour soutenir les stratégies nationales d'adaptation. Pour les prévisions saisonnières, un traitement relativement simple des bases de données climatiques (ou des résultats des MCG) a été présenté à titre d'exemple en utilisant l'Outil de prévision climatique (OPC^{L14}) (détails dans le Manuel ClimaSouth n°6^{L11}).

En ce qui concerne les scénarios de changements climatiques, l'atelier a montré que les projections climatiques archivées à haute résolution (par ex. CORDEX^{L12}) contiennent des informations précieuses pour l'évaluation d'impact. Par conséquent, la capacité à accéder, traiter et analyser de façon appropriée ces expériences peuvent permettre d'apporter une contribution précieuse au développement de stratégies d'adaptation. Néanmoins, la valeur des projections archivées est largement améliorée par la disponibilité de données de stations climatiques locales, afin de permettre un ajustement des résultats issus directement du modèle climatique pour l'évaluation d'impact.

Les participants ont noté que souvent, les données des stations disponibles ne sont pas l'idéal pour cette étape, principalement en raison des « blancs » dans les données, qui laissent des incertitudes quant à la fiabilité des projections en descente d'échelle. L'atelier a permis de montrer comment les données des stations peuvent être complétées avec des grilles de bases de données disponibles au niveau mondial, en particulier les produits de réanalyses (l'atelier a largement utilisé les produits des réanalyses^{L15} du CEPMMT). Un résultat encourageant de l'atelier a été de quantifier comment des séries mensuelles de stations situées dans des zones avec des enregistrements de stations relativement problématiques

ont néanmoins montré une corrélation étroite avec la variabilité mensuelle des données des réanalyses du CEPMMT pour les années disponibles où elles se chevauchent. Ceci encourage l'utilisation de réanalyse pour étendre la couverture des données. Cela indique aussi comment les données de réanalyse peuvent aider au développement de produits de surveillance en temps réel.

L'intégration de l'information en descente d'échelle dans des évaluations d'impact qui puissent soutenir des stratégies d'adaptation suppose une nouvelle gamme de besoins en termes de capacités. Parmi ces domaines figurent :

- i) La capacité de conduire de nouvelles enquêtes scientifiques, en capitalisant sur des approches articulées et intersectorielles et des chaînes de modélisation, en exploitant des données climatiques à haute résolution et leur intégration dans des procédures d'évaluation de risques régionales.
- ii) La capacité d'intégration plus globale qui permet de meilleurs décisions de soutien, y compris sur des sujets complexes et multisectoriels réclamant une attention particulière, tels que l'épuisement des nappes phréatiques, l'intrusion de l'eau de mer, la compétition pour les ressources en eau, la qualité de l'eau et l'érosion côtière.
- iii) La capacité à élargir l'analyse, de façon à inclure une gamme complète de scénarios et d'échelles de temps alternatifs, afin de capturer la série de futurs plausibles. De cette façon, la sensibilité de différentes activités socio-économiques (telles que l'approvisionnement en eau d'irrigation pour l'agriculture) pourrait être évaluée,

identifiant des points sensibles de vulnérabilité où l'on peut s'attendre à ce que le développement d'interventions d'adaptation robustes soient le plus efficaces.

La capacité existante varie considérablement d'un pays partenaire de ClimaSouth à l'autre. Le programme a donné un aperçu de domaines dans lesquels un accroissement des capacités pourrait rapidement permettre d'atteindre le niveau minimum pour le développement d'une vision à haute résolution. La capacité d'accéder et de traiter les données de MCG et de MCR, et de les comparer avec les observations des stations, fournit une base pour obtenir de meilleures informations à l'échelle de temps des saisons et à celle des changements climatiques mondiaux. Cette application de modèles d'impact relativement simples (comme le modèle d'équilibre de l'eau SIME-TAW^{L6}) peut conduire à des connaissances additionnelles substantielles permettant le développement de stratégies d'adaptation.

Des concepts statistiques relativement basiques et des ressources informatiques (niveau PC) sont suffisants pour l'information climatique – étapes d'évaluation d'impact ci-dessus. Des capacités de plus haut niveau (par ex. pour réaliser une descente d'échelle dynamique) peut clairement améliorer la capacité à ajuster l'information à des problèmes sectoriels spécifiques et à construire une meilleure compréhension des incertitudes. Dans certaines situations, cette capacité n'est pas pratique ou alors seulement à des niveaux modestes, mais le programme a pu démontrer qu'un progrès est toujours possible dans le développement d'informations climatiques à haute résolution et d'évaluations d'impact.

6. SÉLECTION DE LIENS INTERNET

^{L1} Manuel électronique ClimaSouth n°6, Descendre l'échelle de la modélisation climatique pour des informations climatiques et une évaluation d'impact à haute résolution (Lien en cours d'élaboration)

^{L2} Informations de CORDEX et données MCR : <http://www.cordex.org/>

^{L3} Manuel électronique ClimaSouth n°2, Améliorer les informations climatiques : <http://www.climasouth.eu/fr/node/116>

^{L4} Outil OPC pour les prévisions saisonnières : <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>

^{L5} Données de réanalyses du CEPMMT <http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>

^{L6} Modèle SIMETAW : <http://www.water.ca.gov/landwateruse/models.cfm>

7. RÉFÉRENCES

- ClimaSouth, (2016) Descendre l'échelle de la modélisation climatique pour des informations climatiques et une évaluation d'impact à haute résolution. Manuel issu du premier atelier ClimaSouth sur la modélisation climatique en descente d'échelle. Lecce, Italie, mars 2015. En préparation en vue de sa publication.
- Falkenmark M, (1986) Eau douce – il est temps de changer d'approche (*Freshwater—Time for a modified approach*). *Ambio*, 15, 192–200.
- FAO/BRGM, (1996) Les Ressources en eau ; FAO : Rome, Italie (en français).
- Giorgi F, Mearns L, (1991) Approches de la simulation des changements climatiques régionaux : analyse (*Approaches to the simulation of regional climate change: a review*). *Reviews of Geophysics*, 29(2): 191-216.
- Giorgi F, Jones C, Asrar G R, (2009) Répondre aux besoins d'informations climatiques au niveau régional : le cadre de la CORDEX (*Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework*). *Bulletin de l'Organisation météorologique mondiale (OMM)*, 58(3), 175.
- GLC (2000) Base de données 2000 de la couverture végétale mondiale (*Global Land Cover 2000 database*). Commission Européenne, Centre commun de recherche, 2003.
- <http://gem.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>
- GIEC (2013) Résumé pour les décideurs. Dans *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques*. Contribution du groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- Jiménez Cisneros B E, Ok T, Arnell N W, Benito G, Cogley J G, Döll P, Jiang T, Mwakalila S S, (2014) Ressources en eau douce. Dans *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité*. Partie A : Incidences observées, vulnérabilité et adaptation. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Field, CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir

TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL Eds. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, pp. 229- 269.

- Mancosu N, Snyder R L, Kyriakakis G, Spano D, (2015) Rareté de l'eau et défis futurs de la production alimentaire (*Water Scarcity and Future Challenges for Food Production*). *Water*: 7(3), 975-992.
- MEDSEC, (2009). Questions environnementales et de sécurité dans la région du sud de la Méditerranée. Evaluation participative des questions environnementales et de sécurité dans la région du sud de la Méditerranée, atelier tenu à Barcelone les 25-27 mars 2009.
- Rockström J, Falkenmark M, Karlberg L, Hoff H, Rost S, Gerten D, (2009) Disponibilité future de l'eau pour la production alimentaire mondiale : le potentiel d'eau verte pour accroître la résilience aux changements climatiques (*Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change*). *Water Resour. Res.* 45: 1–16.
- van Vuuren D P, et al. (2011) Les profils représentatifs d'évolution des concentrations: une vue d'ensemble (*The representative concentration pathways: an overview*), *Climatic Change*, No. 109, pp. 5-31.
- Vermeulen S J, Challinor A J, Thornton P K, et al. (2013) Répondre à l'incertitude dans la planification de l'adaptation pour l'agriculture (*Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture*). *PNAS*.110: 8357–8362.
- Wallace J S, (2000) Augmenter l'efficacité de l'usage de l'eau agricole pour répondre aux besoins futurs de production alimentaire (*Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production*). *Agric. Ecosyst. Environ.*82: 105–119.

