



Modelling System for Agricultural
Impacts of Climate Change
www.changementclimatique.ma

MOSAICC

SYSTEME DE MODELES POUR L'EVALUATION DES IMPACTS
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE

NOTE DE PRESENTATION DE MOSAICC ET DE LA PLATEFORME WEB-SIG DE
DIFFUSION DES RESULTATS SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT ET DE L'IMPACT
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE ET LA FORET



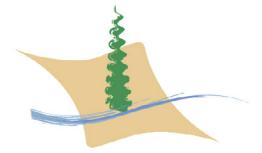
المعهد الوطني للبحث الزراعي
المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique



Royaume du Maroc



Ministère de l'Agriculture
et de la Pêche Maritime



Haut Commissariat aux
Eaux et Forêts et à la
Lutte Contre la Désertification

ROYAUME DU MAROC



Ministère délégué auprès du Ministre de
l'énergie des Mines de l'Eau et de
l'Environnement
Chargé de l'eau



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture



JRC

EUROPEAN COMMISSION



ENFI

SOMMAIRE:

1.	Introduction	P5
2.	Changements climatiques : le 5 ^{ème} rapport du GIEC	P6
3.	Présentation de MOSAICC	P7
3.1	Projet pilote implémenté au Maroc	P7
3.2	Acteurs de MOSAICC	P8
4.	Mise en œuvre de MOSAICC	P10
4.1	Installation du serveur mosaicc	P10
4.2	Ateliers d'échanges mosaicc	P11
5.	Les modules du MOSAICC	P12
5.1	Climatique	P14
5.2	Agronomique	P15
5.3	Hydrologique	P17
5.4	Economique	P18
5.5	Forestière	P19
6.	La plateforme Web-Sig de communication de MOSAICC	P20
6.1	Les impacts des changements climatiques	P21
6.2	Les outils de simulations	P22
7.	La continuité de MOSAICC	P23
7.1	Les utilisateurs	P23
7.2	La gouvernance du système	P24
8.	Conclusion	P25

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH :	Agences de Bassins Hydrauliques
AURELHY :	Analyse Utilisant le Relief pour l'Hydrologie
CGE :	Computable General Equilibrium
DCGE :	Dynamic Computable General Equilibrium
DMN :	Direction de la Météorologie Nationale
DNS :	Domain Name System
DRPE :	Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau
DSS :	Direction de la Stratégie et des Statistiques
ENFI :	Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs de Salé
FAO :	Food and Agriculture Organisation
FBCF :	Formation Brute de Capital Fixe
FTP :	File Transfer Protocol
GCM :	General Climate Model
GIEC :	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
HCEFLCD :	Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification
IFPRI :	International Food Policy Research Institute
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
IP :	Internet Protocol
LAN :	Local Area Network
MAPM :	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime
MCS :	Matrice de Comptabilité Sociale
MEG :	Modèle d'Équilibre Général
MNT :	Modèle Numérique du Terrain
MOSAICC :	Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change
NTP :	Network Time Protocol
ULA :	Université Libre d'Amsterdam

OS :	Operating System
PCA :	Principal Component Analysis
PET :	Potential Evapotranspiration
RAM :	Random Access Memory
RCP :	Representative Concentration Pathway
RDM :	Reste Du Monde
RHEL :	Red Hat Enterprise Linux
RR :	Pluviométrie
SD :	Statistical Downscaling
SGBD :	Système de Gestion des Bases de Données
Stream :	Spatial Tools for River basins and Environment and Analysis of Management option
Tmax :	Température Maximale
Tmin :	Température Minimale
UE :	Union européenne
WABAL :	Water Balance Model

1. INTRODUCTION

Les projections climatiques convergent sur l'avènement d'un climat plus aride dans la région méditerranéenne. D'après les projections, on s'attend à une augmentation des températures, à une diminution des précipitations et à une augmentation de leur variabilité.

En 2009 déjà, une étude a été menée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (MAPM), avec l'appui technique de la FAO et en partenariat avec l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN), dont l'objectif a été d'analyser l'impact du changement climatique sur la productivité des principales cultures au Maroc.

Suite à cette étude et dans le cadre du programme UE/FAO sur la gouvernance globale et la réduction de la faim, la FAO a développé un outil multidisciplinaire appelé MOSAICC « Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change » pour évaluer les impacts du changement climatique sur l'agriculture et la forêt. Cet outil collaboratif, destiné aux institutions nationales des pays en développement permet aux utilisateurs d'évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture sous divers scénarios en tenant compte de la production végétale, des ressources en eau, des ressources forestières et des scénarios économiques. Cet outil innovant a été élaboré pour être transféré dans les pays intéressés avec des formations permettant une utilisation autonome par les experts nationaux.

Le Maroc a été le premier pays à implémenter la plateforme MOSAICC. Plusieurs institutions et experts ont collaboré à ce projet et des points focaux ont été installés au niveau de l'INRA, la DMN, la Direction de la Stratégie et des Statistiques au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (DSS – MAPM), la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE), et le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD).

La phase pilote a pris fin et des outils de diffusion de communication des connaissances ont été développés, à travers des supports classiques d'information : brochures, films et documents techniques.

Egalement, une interface Web-Sig interactive a été élaboré, pour permettre au grand public (étudiants, chercheurs, décideurs, ONG, etc.) d'interagir avec les données générées ainsi que les résultats obtenus au Maroc. L'interface Web-Sig permettra en particulier de réaliser des simulations d'impact du changement climatique sur les secteurs de l'agriculture, de l'eau et de la forêt. Le système MOSAICC permettra ainsi d'intégrer l'information scientifique à la conception des projets de développement hydraulique, agricole et forestier, de manière général, et à la prise de décision économique et/ou politique.

2. CHANGEMENTS CLIMATIQUES: LE 5EME RAPPORT DU GIEC

MOSAICC constitue la première étude d'impact qui prend en compte le dernier rapport du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), qui date de 2013.

En fonction de scénarios et de modèles retenus, le Maroc devrait connaître une augmentation de la température moyenne de 1,1 à 1,6°C d'ici à 2030, de 2,3 à 2,9°C en 2050, et de 3,2 à 4,1°C en 2080. Les précipitations pourraient diminuer de 14% en 2030, de 13 à 30% en 2050, et de 21 à 36% en 2080. ⁽¹⁾

Le dernier rapport du GIEC estime qu'en 2050 le changement climatique accroîtra de 22% les pénuries d'eau dans la région d'Afrique du Nord. La réduction de l'enneigement dans les montagnes de l'Atlas combinée au réchauffement et à la diminution des précipitations va réduire l'approvisionnement en eau des zones de plaines du Maroc .

L'intérêt de MOSAICC est de pouvoir introduire de nouvelles hypothèses et de nouveaux modèles en fonction des données produites au niveau national par les institutions parties prenantes du projet et des derniers résultats des recherches scientifiques du GIEC de 2013.

1* Rapport d'évaluation et d'utilisation du système MOSAICC au Maroc du 28/07/2014

3. PRESENTATION DE MOSAICC

3.1 PROJET PILOTE MIS EN ŒUVRE AU MAROC

Des analyses quantitatives de l'impact du changement climatique sur la productivité des principales cultures au Maroc ont été entreprises, à partir de 2009, par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (MAPM), avec l'appui technique de la FAO et en partenariat avec l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

Grâce aux méthodologies et aux instruments développés à partir de ce premier travail, la FAO a développé avec la contribution de ces institutions ainsi que de l'Union Européenne, une étude pilote de l'outil MOSAICC qui vise à évaluer l'impact du changement climatique sur les secteurs agricole et forestier au Maroc.

Cette évaluation a été réalisée grâce à un système expérimental, développé autour de modèles liés sous forme de cinq modules (climatique, agronomique, hydrologique, économique et forestier) qui intègrent les quatre nouveaux scénarii du 5^{ème} rapport du GIEC, mis à l'échelle du Maroc.

MOSAICC est tout d'abord une plateforme collaborative de simulation mise en œuvre par les représentants des institutions partenaires, qui peuvent ainsi l'employer concrètement dans leurs domaines d'activité respectifs. Ensuite, une plateforme Web-Sig a été développée afin de communiquer les résultats de MOSAICC à un large public.

L'expérience marocaine constitue la première mise en œuvre complète de MOSAICC. Ce projet pilote a permis de tester le fonctionnement de la plateforme et d'apporter les ajustements nécessaires. Il est entendu que la plateforme MOSAICC demeure perfectible et pourrait être actualisée en fonction de nouvelles données introduites dans le système.

2009

Évaluation de l'impact du changement climatique sur la productivité des principales cultures à partir des scénarios du 4^{ème} rapport GIEC

2013 - 2015

MOSAICC : Système de modèles pour l'évaluation de l'impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt à partir des scénarios du 5^{ème} rapport du GIEC

2015

Plateforme Web-SIG
www.changementclimatique.ma
pour diffuser l'impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt à un large public.

3.2 LES ACTEURS DE MOSAICC

3.2.1. LES ACTEURS MAROCAINS DE MOSAICC

La construction et la mise en œuvre de la plateforme MOSAICC a été réalisée grâce à la contribution de plusieurs institutions nationales dont :

- L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
- La Direction de la Météorologie Nationale (DMN)
- La Direction de la Stratégie et des Statistiques au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (DSS – MAPM)
- La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE)
- Les sept Agences des Bassins Hydrauliques de l'Oum Er-Rbia, du Loukkos, du Sebou, de la Moulouya, du Tensift, de Souss-Massa-Draâ et du Bouregreg-Chaouia.
- Le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD)
- L'Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs de Salé (ENFI)

Le développement de MOSAICC a été réalisé suite à une Lettre d'Accord signée en 2013 entre la FAO et l'INRA, la DMN, la DSS-MAPM, la DRPE, les sept Agences des Bassins Hydrauliques et HCEFLCD. La direction du projet MOSAICC est assurée par l'INRA.

Ce protocole d'accord prévoit :

1. Le déploiement du système MOSAICC au sein des différentes institutions et le développement des capacités des institutions
2. La réalisation d'une étude d'impact intégrée des changements climatiques sur l'agriculture et la forêt au Maroc à l'échelle nationale
3. L'évaluation du système (modèles, intégration), du déploiement et de son utilisation dans le cadre de la réalisation de l'étude d'impact intégrée dans une perspective de développement du système et de son utilisation par d'autres institutions, au Maroc et à l'étranger.

3.2.2. LES LES EXPERTS NATIONAUX

Les experts nationaux de institutions chargées de développer MOSAICC au maroc sont :

- Riad BALAGHI (INRA, coordination nationale & composante agronomique)
- Tarik EL HAIRECH (DMN, composante climatique)
- Meriem ALAOURI (DMN, administration système)
- Soundouce MOUTAOUAKKIL (DRPE, composante hydrologique)
- Redouane ARRACH (DSS – MAPM, composante économique)
- Mohamed Yassin (HCEFLCD, composante forestière)

3.2.3. LES PARTENAIRES INTERNATIONAUX

MOSAICC a été initié par la FAO dans le cadre du programme UE-FAO dont l'objet est de faire le lien entre l'information et la prise de décision pour améliorer la sécurité alimentaire.

Plusieurs institutions internationales ont collaboré au projet :

- Numerical Ecology of Aquatic Systems, Université de Mons
- Institute for Environmental Studies, Université Libre d'Amsterdam
- UNICAN - Santander Meteorology Group
- Water Insight
- Aquacrop

4. LA MISE EN ŒUVRE DE MOSAICC

La mise en œuvre de MOSAICC a consisté à installer un serveur au niveau de la DMN, un hardware et un software permettant le fonctionnement des modèles de simulation d'impact du changement climatique sur l'agriculture, les ressources en eau et la forêt.

4.1 INSTALLATION DU SERVEUR MOSAICC

Les modèles et les outils de MOSAICC fonctionnent tous à partir d'un serveur central installé à la DMN, auquel les utilisateurs ont accès via des interfaces Web-Sig. Tous les modèles sont connectés à une base de données spatiale unique, ce qui facilite l'échange de données.

MOSAICC est un système basé sur la technologie Web-Sig. Il est amené à effectuer des simulations sur des données géo référencées de natures multiples (climatiques, hydrologiques, agronomiques, forestières et économiques). MOSAICC utilise des outils et des bibliothèques « open source » pour exécuter des requêtes émanant de plusieurs utilisateurs d'une part et pour plusieurs modèles d'autre part.

Hardware :

L'architecture de MOSAICC est basée sur Centos qui est la distribution Linux la plus populaire des Web-Sig serveurs.

Le serveur sur lequel MOSAICC est installé comprend :

- CPU : Intel®Core™ 2 Quad CPU Q9550 @ 2.83 GHz → 8 CPUs
- RAM : 8 GB
- Disk : 2 TB in RAID 1
- CentOS 5.4, 64-bits (glibc 2.5)

Software :

Les bibliothèques utilisées dans MOSAICC sont les suivantes :

Langages de programmation	Librairies	SGBD	Web-Sig server	Multi-plateforme software
C/C++ Pascal Basic Fortran Python R	PROJ.4 GEOS GFAL GDAL-Phyton	PostgreSQL PostGIS	Apache PHP Mapserver Drupal CMS	Hardware : 32 ou 64 bits Operating Systems : Linux ou Windows

4.2 ATELIERS D'ÉCHANGES MOSAICC

Plus de 30 cadres nationaux, des institutions partenaires ont assisté aux ateliers d'échanges et de formation relatifs aux différentes composantes du système MOSAICC.

Les ateliers ont porté sur l'administration du système, l'interpolation et la réduction d'échelle statistique des données climatiques, l'introduction au système et les modélisations hydrologique, agronomique, économique et forestière. Les formations ont été réparties sur 11 semaines, ce qui a permis à certains experts d'assister à plusieurs formations.

Tableau 1 : Les sessions de formation dispensées au Maroc et à l'étranger

Dates	Module de formation (lieu)
24-26 avril 2013	Administration du Système (DMN, Casablanca)
7 mai 2013	Interpolation (DMN, Casablanca)
8-10 mai 2013	Réduction d'Échelle Statistique (DMN, Casablanca)
14 mai 2013	Introduction à MOSAICC (INRA, Rabat)
15-17 mai 2013	STREAM (INRA, Rabat)
27-31 mai 2013	WABAL (INRA, Rabat)
3-7 juin 2013	CGE (DSS-MAPM, Rabat)
10-13 juin 2013	AQUACROP (INRA, Rabat)
16-21 mars 2014	Composante économique (Université Libre d'Amsterdam)
16-20 février 2015	Composante hydrologique (Rabat)
7-9 avril 2015	Composante économique (Rabat)
1-5 juin 2015	Composante Foresterie (Rabat)

Les sessions de formation étaient dispensées par les experts impliqués dans le développement du système MOSAICC :

Nom du formateur / Titre de la formation

- Mauro EVANGELISTI (FAO) : Administration du système
- François DELOBEL (FAO) : Composante climatique et hydrologique
- Ate POORTINGA (Water Insight) : Composante hydrologique
- Onno KUIK (ULA) : Composante économique
- Riad BALAGHI (INRA) : Composante agronomique
- Renaud Colmant (FAO) et Fouad Mounir (ENFI) : Composante forestière

Les évaluations des sessions de formation ont montré que la majorité des cadres formés ont été satisfaits par les formations reçues, perçues comme une bonne préparation à une utilisation autonome du système et de ses composantes.

5. LES MODULES DE MOSAICC

MOSAICC est un système de modèles pour l'évaluation des impacts du changement climatique sur l'agriculture, les ressources en eau et la forêt. MOSAICC inclut cinq modèles :

1. Modèle de traitement de données du climat actuel et des projections climatiques futures, lequel comprend des outils de réduction d'échelle et d'interpolation statistiques visant à préparer les données climatiques pour les autres modèles
2. Modèle agronomique dont le rôle est de simuler la croissance et le développement d'un nombre de cultures
3. Modèle hydrologique qui permet de donner une estimation du ruissellement au niveau des rivières des bassins hydrologiques en utilisant les données produites par les outils de traitement de données climatiques
4. Modèle économique de simulation l'impact des variations de rendement dues aux changements climatiques sur l'économie agricole
5. Modèle forestier, en cours de développement, en conformité avec les intérêts et besoins au niveau national et régional pour évaluer les nombreux impacts du changement climatique sur la dynamique forestière.

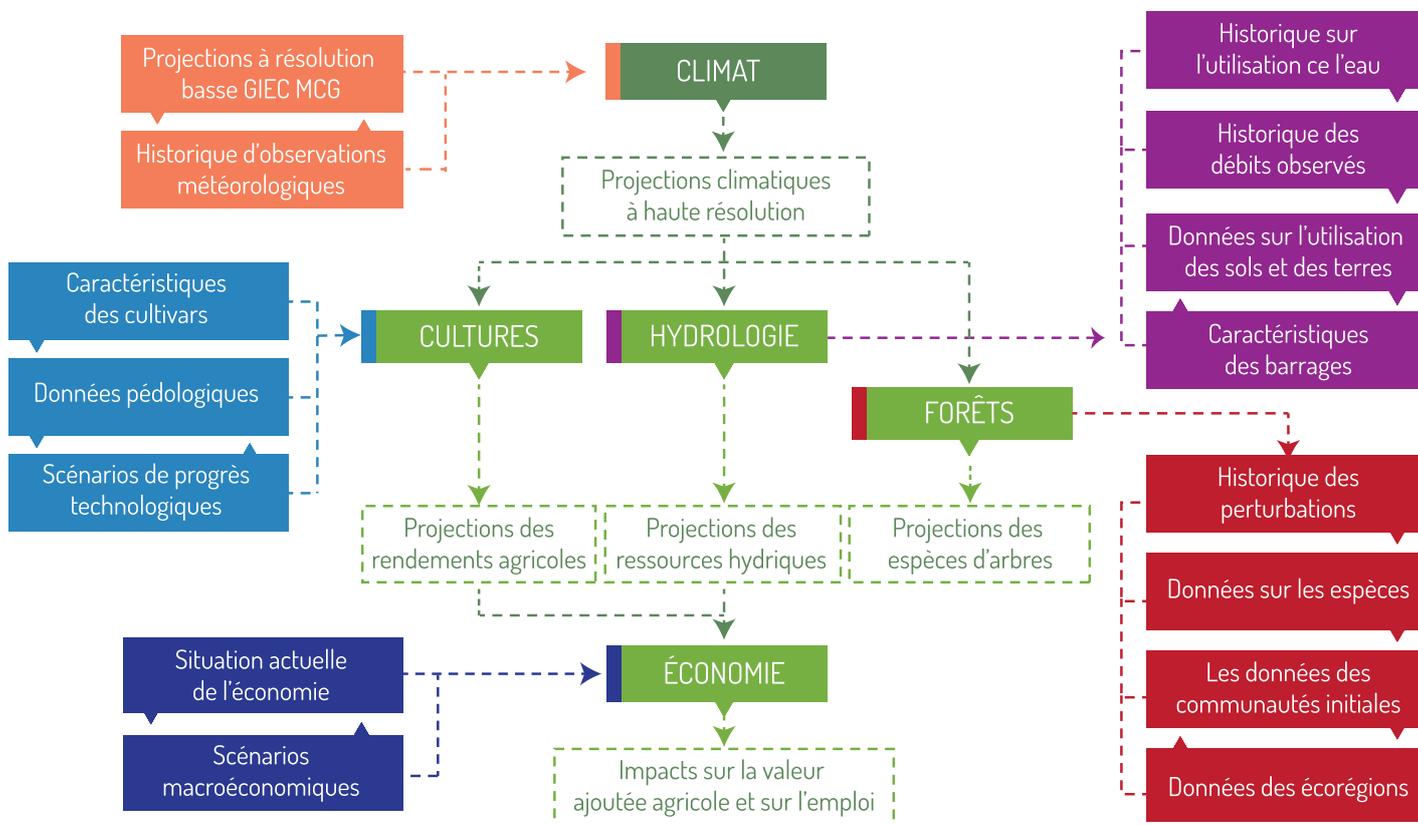


Figure 1 : Vue d'ensemble de la plateforme MOSAICC avec les 5 modèles.

5.1 COMPOSANTE CLIMATIQUE

Le système de modélisation comprend des outils pour générer des séries chronologiques de variables bioclimatiques :

- Les températures minimales et maximales
- Les précipitations
- L'évapotranspiration de référence
- Le début de la saison de croissance
- La durée de la saison de croissance

La composante climatique intègre un outil de réduction d'échelle statistique basée sur le Portail SD développé par le Groupe Santander Meteorology de l'Université de Cantabrie. Cet outil a été conçu pour effectuer la réduction d'échelle statistique des grilles climatiques générées par les Modèles du Changement Climatique (MCC).

Plusieurs méthodes de maintien de la cohérence spatiale sont disponibles dont les méthodes de régression. L'outil comprend également un générateur de temps pour obtenir des séries chronologiques des variables météorologiques nécessaires.

Un deuxième outil a été développé pour interpoler les données climatiques sur l'ensemble du pays en utilisant la méthode AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie) d'interpolation des données météorologiques et hydrologiques sur la base de l'analyse de la topographie.

Un programme a été développé pour calculer l'évapotranspiration de référence directement à partir de trames interpolées des températures minimales et maximales.

Enfin, le système de modélisation comprend également un outil pour estimer le début de la saison de croissance et la durée du cycle de croissance.

L'implémentation du module climatique a été réalisée au niveau de la DMN. Toutes les variables du modèle ont été étudiées, deux ont été retenues :

- Les températures minimales et maximales
- Les précipitations

L'application du modèle a retenu deux scénarios du dernier rapport du GIEC de 2013 : un scénario optimise, le RCP 4.5, qui se base sur l'hypothèse d'une stabilisation des émissions de gaz à effet de serre en 2050, et un autre, pessimiste, le RCP 8.5, qui considère que les émissions de gaz à effet de serre continueront leur évolution en pente positive jusqu'en 2100. Les projections climatiques sont effectuées selon les trois modèles des impacts du changement climatique, canadien, allemand et japonais, et prennent en compte deux unités de temps : la décade et le mois.

5.2 COMPOSANTE AGRONOMIQUE

Pour la composante agronomique, deux modèles sont disponibles pour établir les projections de rendement des cultures, à la fois choisis pour leur simplicité et consistance, bien que leur niveau de sophistication soit différent.

Le premier est un modèle spécifique de bilan hydrique des cultures, appelé WABAL, logiciel agronomique de la FAO. Il est conçu pour simuler le bilan hydrique du sol au niveau de la culture en utilisant :

- Les données bioclimatiques de précipitations, d'évapotranspiration de référence et de date de départ et de durée de la saison de croissance ;
- Les données du sol notamment de capacité de rétention d'eau du sol ;
- Les paramètres de culture, soit les facteurs de cultures et la longueur des étapes de croissance des cultures.

Les résultats du modèle consistent en plusieurs variables relatives au bilan hydrique des cultures telles que l'évapotranspiration, le déficit d'eau ou encore l'indice de satisfaction de l'eau pour la saison de croissance et aux différents stades de croissance. Ce modèle a été extrait de l'AgroMetShell, le logiciel de prévision du rendement des cultures de la FAO. Le modèle peut être utilisé pour tout type de cultures.

Le deuxième modèle est appelé AQUACROP, lequel a également été développé à la FAO. Ce modèle de cultures simule la réponse de la culture à l'eau d'une manière plus sophistiquée que WABAL. En effet, AQUACROP distingue l'évaporation du sol et la transpiration des cultures, simule le développement des racines, l'expansion de la voilure ainsi que les contraintes de l'eau et fournit comme résultats la production de la biomasse et les estimations de rendement. L'effet de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère est également pris en compte. Le modèle prend en compte pour le moment les cultures suivantes : le coton, le maïs, la pomme de terre, le quinoa, le riz, le soja, la betterave à sucre, le tournesol, la tomate et le blé.

Au niveau de l'INRA, les sites expérimentaux choisis se situent dans la plaine du Tadla. Les données utilisées ont été recueillies durant les cinq campagnes agricoles entre 2009-2014 pour la culture de blé.

Les activités et les paramètres étudiés sont listés ci-dessous :

- L'élaboration de l'itinéraire technique de la culture de blé selon les conditions de la région
- La quantification des volumes d'eau fournis au niveau de la parcelle pour chaque système d'irrigation (le taux et la durée de l'irrigation)

- Le suivi de l'humidité du sol à différentes profondeurs par la méthode gravimétrique
- La détermination des paramètres physico-chimiques et hydrodynamiques du sol (texture, conductivité hydraulique à saturation, l'humidité à la capacité au champ, point de flétrissement, la conductivité électrique et le pH)
- Les données climatiques ont été mesurées pendant la saison de culture du blé par des stations météorologiques gérées par la DMN. Les paramètres climatiques mesurés sont la température de l'air quotidienne maximale et minimale (°C), les précipitations (mm), la vitesse du vent (m/heure), l'humidité relative (%), et le rayonnement solaire (Watt/m²).

5.3 COMPOSANTE HYDROLOGIQUE

Le système de modélisation comprend un modèle hydrologique basé sur une nouvelle version de STREAM, modèle maillé de ruissellement des précipitations qui simule le taux d'écoulement dans les grands bassins versants. Cet outil a été développé au sein de l'Université Libre d'Amsterdam.

STREAM est donc un modèle hydrologique spatial de type « pluie-débit » visant à simuler le taux d'écoulement et le débit dans les grands bassins fluviaux. Il a été appliqué dans plusieurs bassins, comme le Rhin, le Gange-Brahmapoutre, le Yangtze et les bassins fluviaux du Zambèze. La nouvelle version de STREAM offre plus de flexibilité en termes de saisie et intègre les barrages dans le cycle hydrologique. Un module d'étalonnage a été également incorporé.

Le modèle hydrologique peut avoir plusieurs applications pour les études d'impact du changement climatique dans le secteur agricole. À l'échelle d'un bassin versant, STREAM peut être utilisé pour estimer la disponibilité de l'eau pour des systèmes d'irrigation sous différents scénarios de changement climatique. À l'échelle d'un pays, le modèle peut être utilisé pour évaluer les totaux réels des ressources renouvelables en eau.

La collecte des données hydrologiques nécessaires à la calibration du modèle STREAM a été faite donc auprès des Agences de Bassins Hydrauliques. Elle a porté sur :

- Les débits mensuels observés aux stations hydrologiques du bassin versant et qui couvrent la période (janvier 1980 – décembre 2010)
- Les débits mensuels à l'entrée et à la sortie des principaux barrages pour la même période (janvier 1980- décembre 2010)
- La capacité totale des principaux barrages, leur taux de remplissage, la quantité d'eau extraite en moyenne
- Les MNT (Modèle Numérique de Terrain) en cas de disponibilité
- Les coordonnées des stations et des barrages.

5.4 COMPOSANTE ECONOMIQUE

MOSAICC comprend un modèle dynamique d'équilibre général calculable, qui simule l'évolution de l'économie d'un pays donné et les changements induits par des variations de rendements des cultures projetées sous plusieurs scénarios de changement climatique.

Ce modèle, développé en partenariat avec l'Université Libre d'Amsterdam, est inspiré par le modèle IFPRI DCGE. Le modèle permet à l'utilisateur de définir un certain nombre d'activités produisant chacune un produit de base pour tenir compte des différentes cultures ainsi que des variations différenciées des rendements des cultures à travers le pays.

L'effet des variations de rendement des cultures est simulé en utilisant un paramètre de décalage dans les fonctions de production de l'activité. Le modèle fournit des estimations pour toutes les variables endogènes (par exemple, les prix des produits de base, les importations, les taxes, les revenus, l'épargne des ménages, etc.).

Au niveau de la DSS-MAPM, les économistes ont adapté l'interface pour la modélisation économique avec l'administrateur du système. Dans ce cadre l'élaboration de la Matrice de Comptabilité Sociale (MCS) a fait l'objet de plusieurs étapes :

- L'élaboration de la Macro Matrice (Matrice M) a été basée sur les données des tableaux ressources emplois publiés par le HCP pour l'année 2010. Le choix de l'année de référence a été dicté par le caractère moyen de cette campagne agricole.
- La désagrégation de la Macro Matrice a été faite pour que les activités retenues puissent répondre à l'objectif du projet MOSAICC à savoir l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. Ainsi, les activités ont été désagrégées selon les régions agro climatiques et les filières de production.
- La matrice (MCS- Maroc 2010) se compose des éléments suivants : 10 produits de base, 15 activités, 4 facteurs de production, 3 institutions, 5 types de taxes, l'épargne-investissement et la variation des stocks.

5.5 COMPOSANTE FORESTIERE

Le changement climatique constitue un grand défi, non seulement pour l'agriculture, mais aussi pour les forêts. Il menace ainsi les populations qui dépendent notamment de la forêt pour leur subsistance.

Le nouveau module forestier de MOSAICC est en cours de développement, en tenant compte des intérêts et des besoins au niveau national et régional, en évaluant les impacts du changement climatique sur la dynamique forestière.

Le modèle forestier qui est intégré dans MOSAICC se nomme LANDIS-II, c'est un modèle permettant la simulation du paysage forestier dans le temps. Il simule la façon dont les processus écologiques, y compris la succession et la dispersion des graines, les perturbations et les changements climatiques affectent un paysage forestier au fil du temps.

La version de LANDIS-II intégrée dans MOSAICC est basée sur les processus physiologiques. Ce modèle utilise des relations directes de cause à effet et relie la dynamique des forêts aux facteurs fondamentaux, tels que des facteurs climatiques (température, précipitations et concentration de CO₂). Il peut produire des prévisions consistantes sous de nouvelles conditions.

Le module forestier est un outil utile pour :

- Informer et soutenir les décideurs à prendre des décisions fondées, conformément aux prévisions de changement climatique
- Evaluer la productivité du bois dans une région et son impact sur l'économie
- Evaluer l'établissement et la survie d'espèces d'arbres en vertu de nouvelles conditions
- Evaluer les effets des perturbations comme le feu, le vent et les ravageurs sur la production de bois et sur l'économie
- Analyser l'évolution des forêts de cèdres, espèce noble du pays montrant une vulnérabilité certaine aux risques d'élévation des minima de températures et de réduction des précipitations

6. PLATEFORME WEB-SIG INTERACTIVE DE MOSAICC

Une interface Web-Sig interactive a été développée pour permettre de partager l'information avec de multiples utilisateurs. Ainsi, les informations produites par MOSAICC sont publiques et gratuites, ce qui constitue un avantage certain.

Un site web a été spécifiquement élaboré, accessible via l'adresse www.changementclimatique.ma, ce qui constitue une innovation importante, au Maroc, dans le cadre de la diffusion de l'information relative aux impacts du changement climatique sur l'agriculture et la forêt.

L'interface Web-Sig présente le projet, les acteurs locaux ainsi que les partenaires internationaux. Elle offre surtout deux systèmes de lecture des résultats. Une lecture simple des impacts des changements climatiques ou bien une utilisation plus dynamique donnant la possibilité à l'utilisateur de produire des simulations en fonction de critères qu'il aurait choisis.

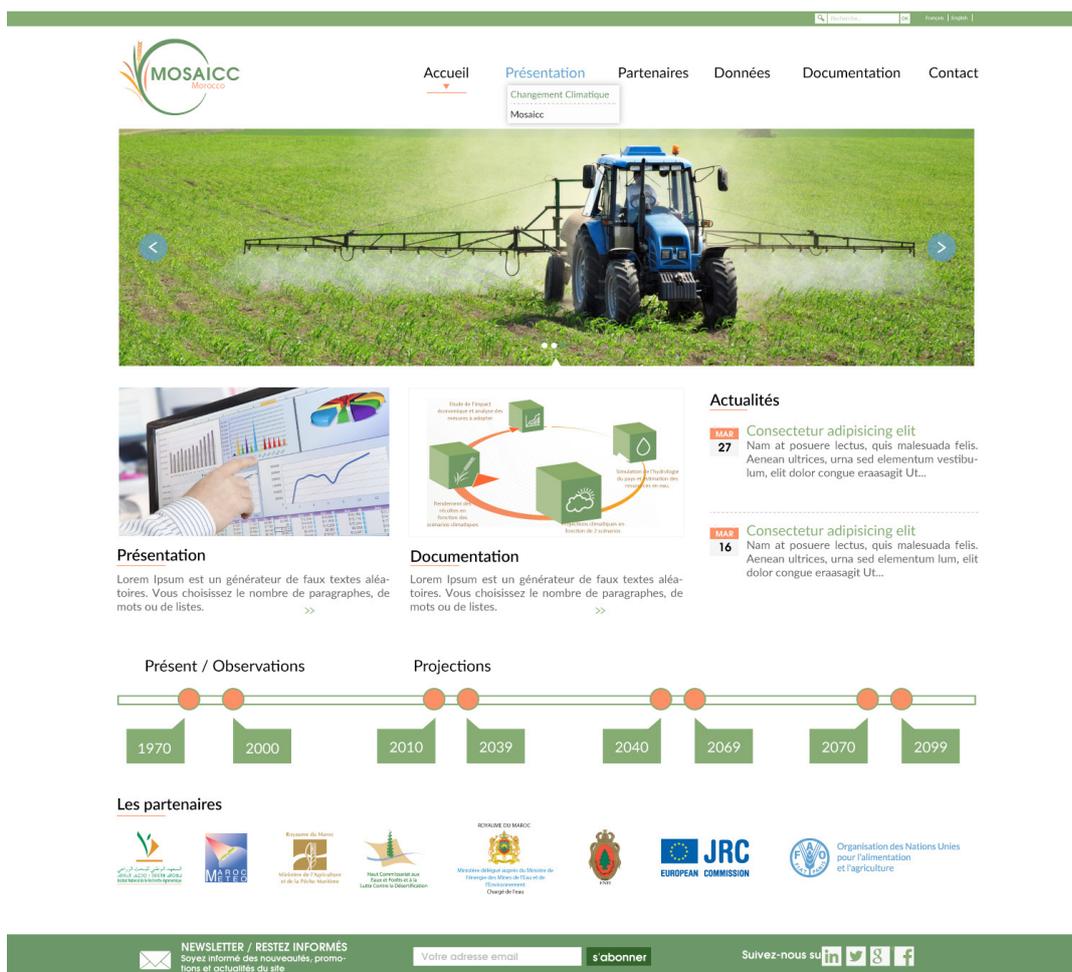


Figure 2 : Page d'accueil de la plateforme Web-Sig MOSAICC

6.1 IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

À l'onglet « Impacts » du menu de la plateforme Web-Sig de MOSAICC, l'internaute accède à une interface qui lui permet de visualiser les impacts du changement climatique, selon les deux scénarios, RCP 4.5 (optimiste) et RCP 8.5 (pessimiste) et en fonction des trois modèles du dernier rapport du GIEC 2013 (Voir § 4.1).

Pour lire les données, l'utilisateur choisit le type de données qui l'intéressent : climatiques, agronomiques, hydrologiques, forestières ou économiques ainsi que la zone géographique.

Le système produit automatiquement les simulations sous forme de cartes, de courbes et de tableaux pour les trois périodes suivantes : 2010-2039 – 2040-2069 et 2070-2099.

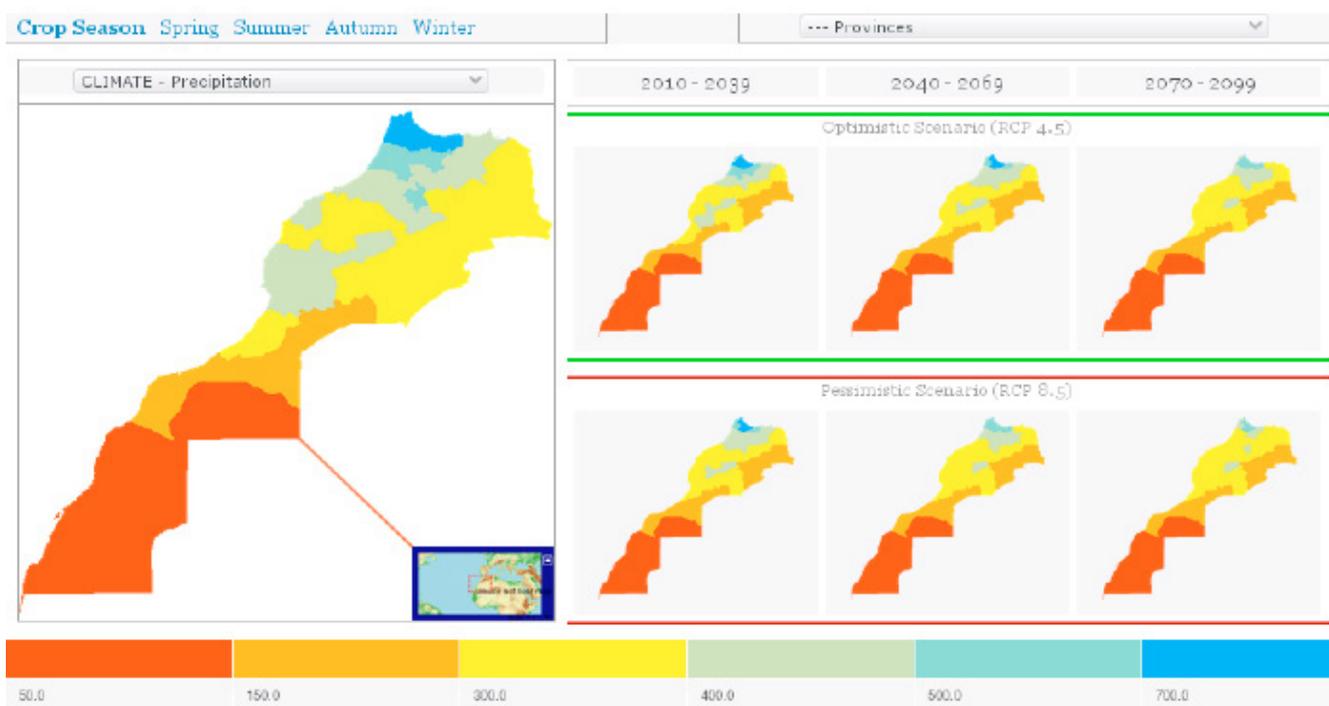


Figure 3 : Les projections des impacts du CC sont effectuées sur trois périodes de temps : 2010 – 2039, 2040-2069 et 2070 – 2099 pour deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5

6.2 OUTIL DE SIMULATIONS

À partir de l'onglet « Simulateur » du menu de la plateforme Web-Sig de MOSAICC, l'utilisateur pourra affiner en détail son choix en définissant lui-même plusieurs critères, dont :

- La période de temps entre 2016 à 2100 avec des unités de temps égales ou supérieures à 10 ans
- L'hypothèse de calcul : RCP 4.5 ou RCP 8.5
- Le modèle de calcul
- Les limites administratives : région, province, commune ou bassin versant

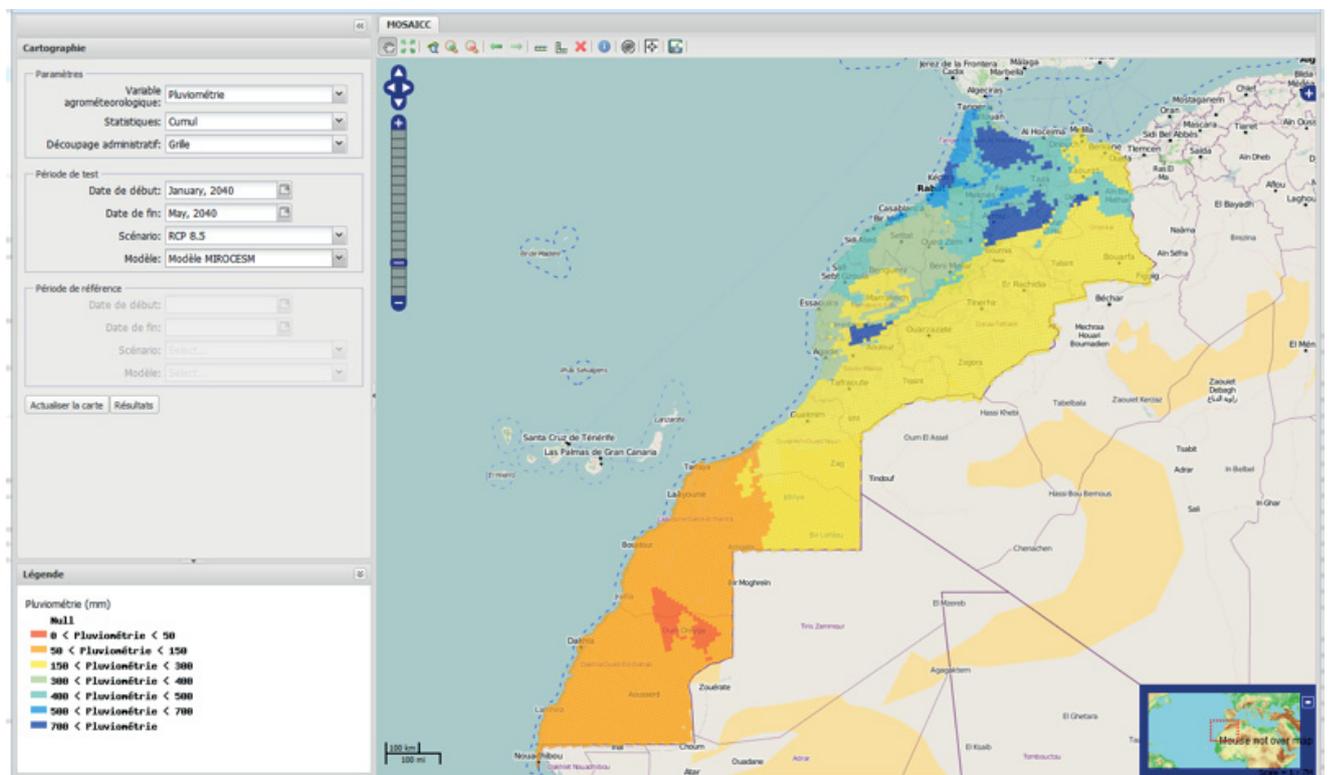


Figure 4 : L'interface de la plateforme Web-Sig permettant à l'utilisateur d'exécuter des simulations avec choix de variables (scénarios et périodes), en fonction de ses besoins.

7. LA CONTINUITE DE MOSAICC

Au-delà des études d'impacts, les applications du système sont multiples. Elles concernent l'évaluation des changements climatiques à l'échelon local, le suivi des impacts sur les ressources hydriques, les cultures et la sécurité alimentaire, la dynamique des forêts l'analyse de la vulnérabilité et la simulation de mesure de politique dans le domaine agricole.

D'ailleurs, une première utilisation concrète des données générées par MOSAICC dans le domaine de la politique économique concerne l'assurance agricole au Maroc, dans le cadre du projet ACCAGRIMAG « Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture au Maghreb ». Ce projet est financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), à travers l'Agence Française pour le Développement (AFD). Le projet a pour objectif de contribuer à réduire la vulnérabilité de l'agriculture pluviale aux effets du changement climatique au Maroc et en Tunisie.

7.1 LES UTILISATEURS DE MOSAICC

Il existe deux catégories d'utilisateurs de MOSAICC.

La première catégorie est composée des entités qui sont intervenues dans l'implémentation de MOSAICC en prenant en considération les données locales. Il s'agit de la DMN, l'INRA, la DSS-MAPM, la DRPE, les 7 ABH, le HCEFLCD et l'ENFI. Cette liste n'est pas exhaustive, car d'autres entités pourraient vouloir utiliser le modèle pour des simulations d'impacts du changement climatique dans d'autres domaines d'activité et ainsi rejoindre le consortium.

La deuxième catégorie est constituée des utilisateurs des résultats de MOSAICC. Il s'agit des décideurs de la politique économique, des professionnels du monde agricole ainsi que des chercheurs et des étudiants dans les domaines de la climatologie, l'agronomie, l'hydrologie, la foresterie qui sont susceptibles d'utiliser les résultats de MOSAICC comme outils de base pour des recherches plus poussées sur les impacts du changement climatique notamment dans le cadre de thèses de recherche. MOSAICC pourrait également être utilisé par des agences de développement, des ONG et des bailleurs de fonds potentiels.

7.2 LA GOUVERNANCE DU SYSTEME

Un des points forts de MOSAICC est d'avoir permis à plusieurs entités de collaborer à l'intérieur d'un accord-cadre. L'ensemble des intervenants s'accorde sur la nécessité de renforcer le consortium ainsi créé, pour garantir au modèle MOSAICC sa propre dynamique.

MOSAICC restera évolutif et perfectible et nécessite des moyens humains et financiers pour garantir son développement et pour tenir compte des évolutions aussi sur le plan du climat que des constantes agricoles et forestières.

Des besoins ont déjà été relevés par les parties prenantes :

- Etendre les formations au profit d'un plus grand nombre d'intervenants
- Tenir à jour le modèle en y introduisant des données actualisées
- Rester au fait des résultats des autres expériences à travers le monde
- Intervenir dans le déploiement de MOSAICC au niveau d'autres pays

8 CONCLUSION

MOSAICC est tout d'abord un système de modèles pour des utilisations scientifiques par les départements intéressés par l'évaluation du changement climatique. Dans ce cadre, la DMN, l'INRA, la DSS-MAPM, la DRPE, les 7 ABH et le HCEFLCD ont contribué à son implantation et parallèlement, il devrait constituer pour eux un outil de travail.

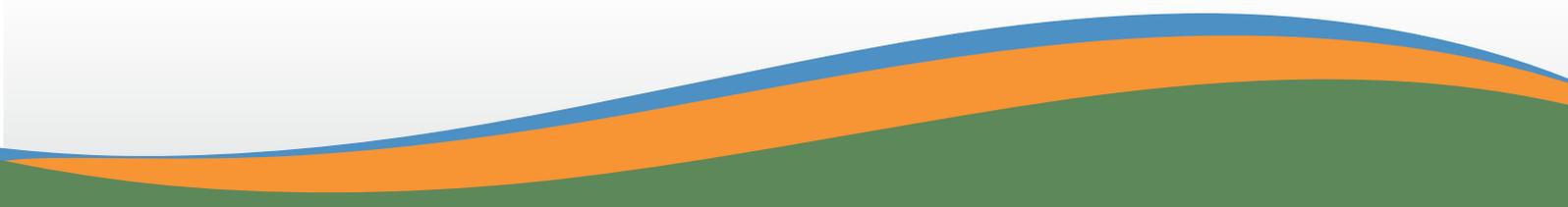
MOSAICC est également accessible à un large public à travers la plateforme Web-Sig interactive développée à cet effet.

MOSAICC permet ainsi d'informer sur les impacts du changement climatique dans toutes les régions du Maroc et donc de conscientiser la population quant à la nécessité d'adopter un comportement plus respectueux de l'environnement et agir pour une meilleure adaptation au changement climatique. À titre d'exemple, le modèle peut être utilisé comme un outil de vulgarisation par les associations qui œuvrent dans le domaine du respect de la nature.

MOSAICC est un outil d'aide à la décision pour les politiques qui conçoivent les projets en fonction des impacts du changement climatique. Comme illustration, dans sa composante hydrologique, les impacts du changement climatique sur les débits des eaux des bassins versants influenceront les stratégies hydrauliques, les infrastructures, les ouvrages et les usages de l'eau.

Enfin, MOSAICC peut également enrichir les argumentaires dans le cadre des réunions internationales ayant trait à la lutte contre le réchauffement climatique.

Eu égard à ses différents modèles et à ses multiples utilisations, pour garantir sa pérennité et son évolution MOSAICC mérite un ancrage plus important au niveau des institutions partenaires de son développement : la DMN, l'INRA, la DSS-MAPM, la DRPE et les 7 ABH, le HCEFLCD et l'ENFI ainsi qu'un déploiement vers d'autres institutions et une vulgarisation auprès du grand public. Pour cela, des partenariats nationaux et internationaux pourraient être explorés.



FAO — REPRÉSENTATION AU MAROC

4, Rue Prince Sidi Mohamed, Souissi 10170 Rabat
– PO BOX 1363, Rabat
+212 537 654308
+212 537 654552

INRA

Avenue Ennasr - Rabat, Maroc - BP 415 RP Rabat
Maroc
+212 537 770955