



VIGIE-MED :

Impact des changements climatiques à l'échelle régionale et adaptation par la distribution spatiale des ressources hydriques et des systèmes de production végétal

Métaprogramme ACCAF

Rapport final : résultats pour la période 2012 – 2015

Version française



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
PRESENTATION GENERALE DU PROJET.....	3
SYNTHESE.....	6
LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION.....	22
RESUME.....	29
EVALUATION.....	37
ANNEXES : TEXTES DES PUBLICATIONS.....	38

Présentation générale du projet

Titre : VIGIE-MED

Dates et durée du projet : 2011-2015

Budget ACCAF alloué pour le projet : 187k€

Porteur(s) de projet

Nom : André Chanzy

Unité et Département : EMMAH département E&A

Contacts : achanzy@avignon.inra.fr

Présentation du consortium

Autres unités impliquées : ECODEV, URFM, BioSP, MIA Toulouse, UMR MIA 518 INRA-Agro-Paristech

(Les contributions des unités ASTER, économie Publique et GSE n'ayant pas ou peu participé au projet n'ont pas été prises en compte dans le rapport).

Autres départements impliqués : EFPA, MIA

Effectifs impliqués :

- Permanents :

DR / CR	9
IR / IE	6
AI-B-C	8

- Contractuels :

CDD	1
Post-doctorants	
Doctorants	1
Masters :	13

Hommes.mois mobilisés sur la durée du projet :

- Permanents :

DR / CR	25
IR / IE	22.5
AI-B-C	75.5

- Contractuels :

CDD	6
Post-doctorants	0
Doctorants	36
Masters	72

Stagiaires accueillis (master, doctorants, post-doctorants) :

Master

Balde O., Analyse statistiques des choix de couverts agricoles a` l`echelle parcellaire., stage de master II, 6 mois, Stage INRA M2, 2014.

Boyao, S., Mod`elisation micro-`econom`etrique de l`abandon agricole et des choix culturaux `a l`echelle parcellaire en paca., stage de master II, 6 mois, INRA, UR 767 Ecod`veloppement, 2012.

Drapier, L. Analyse de la causalit`e entre am`enagement routiers et urbanisation., stage de master II, 6 mois, INRA, UR 767 Ecod`veloppement, 2015.

Feindouno, S., D`eterminants de l`abandon agricole en r`egion paca, tech. rep stage de master II, 6 mois, INRA, UR 767 Ecod`veloppement, 2013.

Lopez-Kolkosky, J., Mod`elisation micro-`econometrique de l`urbanisation en paca, stage de master I, 6 mois, INRA, UR 767 Ecod`veloppement, 2013.

Wu, D. Propri`ete fonci`ere et `etalement urbain, stage de master II, 6 mois, INRA, UR 767 Ecod`veloppement, 2012.

Prat V. 2014, D`etermination de la biomasse combustible `a partir de scans LiDAR. Stage d`initiative personnelle, T`el`ecom Saint Etienne, INRA-URFM, 22p.

Bornuat E. 2015. D`etermination de la structure et de la biomasse combustible `a partir de nuages de points acquis par un LiDAR terrestre. M`emoire de soutenance de Dipl`ome d`Ing`enieur INSA Sp`ecialit`e Topographie. 74p.

Cakpo CB 2015. Etude du bilan hydrique en contexte forestier m`editerran`een, approche par g`eophysique, tra`çage isotopique, mod`elisation `ecophysiological. M`emoire de fin d`etude. Master Sciences et Technologies du Vivant et de l`Environnement ; mention (For`et

Agronomie et Gestion des Ecosystèmes), spécialité : « Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes ».

Zhang Z., 2011. Analyse de l'évolution du parcellaire agricole : mise au point d'une méthode de classification fondée sur l'analyse d'images de télédétection et de données vectorielles de différentes natures. Mémoire de Master 1ère année « Génie de l'environnement », Institut EGID, Université Michel de Montaigne – Bordeaux 3, 26 p.

Lejail P., 2013. Création d'une typologie des systèmes agricoles de la région PACA et analyse de son évolution au cours du temps. Rapport de stage de 2ème année D.U.T. Statistiques et Informatique Décisionnelle, IUT d'Avignon, 34 p + annexes.

El Amraoui M., 2014. Les indicateurs écoclimatiques pour l'analyse de la faisabilité des cultures. Le cas d'étude de la vigne en Vaucluse. Rapport de Master « Ingénierie et Gestion des Territoires (IGT) », spécialité « Gestion Agricole et Territoires (GAT) », CIHEAM-IAM Montpellier, Université Montpellier 3, 66 p + annexes.

Ben Mustapha A., 2014. Les indicateurs écoclimatiques pour l'analyse de la faisabilité des cultures. Le cas d'étude du pommier et du cerisier en Vaucluse. Rapport de Master « Ingénierie et Gestion des Territoires (IGT) », spécialité « Gestion Agricole et Territoires (GAT) », CIHEAM-IAM Montpellier, Université Montpellier 3, 78 p + annexes.

Gundogdu U., 2015. Application of ecoclimatic indicators to analyse the quantity and quality feasibility of wine grape production in Vaucluse department (France). Mémoire de Master 2, European Master of Viticulture and Enology, Universidad Politecnica de Madrid, 68 p + annexes.

Thèse :

Bourotte M. Modèles et algorithmes pour un générateur de temps spatialisé (SWgen) prenant en compte les valeurs extrêmes. Co-direction, D. Allard (BioSP, INRA Avignon) et Liliane Bel (UMR MIA/AgroParisTech, Paris) Soutenance prévue en Février 2016.

VIGIE-MED

**Métaprogramme « Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt »
(ACCAF)**

SYNTHESE

Nom du porteur de projet : André Chanzy

Autres partenaires scientifiques : Denis Allard, Marc Bourotte, Philippe Clastre, Hendrik Davi, Jean-Luc Dupuy, Marta Debellini, Sébastien Guarrigues, Martine Guerif, Ghislain Géniaux, Patrice Lecharpentier, Claude Napoléone, François Pimont, Hélène Raynal, Eric Rigolot, Albert Oliosio

CONTEXTE GENERAL

Dans de nombreuses régions du monde, il est capital de préserver les capacités de productions végétales (services écosystémiques (SE) d’approvisionnement). Celles-ci sont fortement dépendantes des ressources en eau et en sol soumises à de fortes pressions (changement climatique, sécheresse, inondation, croissance démographique). Il est également important de pouvoir prévoir l’évolution des risques pouvant affecter ces services tels que les incendies de forêt. Certains des impacts du changement climatique sur les systèmes de production végétale concernent des territoires de dimension importante (aquifère, bassin versant, massif forestier) et l’échelon régional, au sens administratif du terme, est un niveau important pour prendre des décisions sur l’adaptation aux changements climatiques (Lois Grenelle, Agenda 21, schémas directeurs d’aménagement du territoire, gestion des ressources hydriques ...). Pour venir en appui des autorités locales et des professions agricole et forestière, nous proposons des indicateurs de durabilité territoriale permettant d’apprécier les SE d’approvisionnement, de régulation (stockage de carbone), les ressources hydriques, les risques d’incendie ou encore l’adaptabilité des territoires aux enjeux futurs relatifs aux besoins et conditions de production. Dans VIGIE-MED, l’adaptation est vue à travers l’allocation spatiale des systèmes de production végétale qui doit prendre en compte de manière explicite la répartition des sols, des ressources hydriques et des conditions bioclimatiques. Afin d’appréhender l’impact des mesures d’adaptation, il est important de comprendre les dynamiques territoriales induites en tenant compte d’autres facteurs tels que processus micro-économiques ou les forçages macro-économiques.

L’ambition générale du projet était de construire un cadre de modélisation régional permettant d’une part, de représenter les dynamiques territoriales d’usage des sols en fonction du contexte socio-économique et des options d’adaptation et d’autre part, développer un ensemble d’indicateurs décrivant le fonctionnement du territoire sur le plan de la production végétale, des risques associés (sécheresse, incendie) et des ressources hydriques. Le financement ACCAF devait servir de financement starter pour initier un projet d’ANR qui n’a malheureusement pas été retenu. De ce fait le projet a permis d’initier les briques nécessaires à la modélisation régionale sans avoir permis d’intégrer l’ensemble.

L’ancrage territorial a été la région PACA ouest qui regroupe les départements du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône. Cette zone offre une diversification importante des usages des sols avec des mutations rapides d’un usage à l’autre (urbanisation, abandon, systèmes de cultures) et des perspectives de changements climatiques importantes, la région méditerranéenne étant souvent considérée comme un hot spot de changement. Le projet a surtout été porté par les unités de recherche du pôle « Adaptation aux Changements Globaux » du centre INRA –PACA et la plateforme géomatique GeOpen4S qui été mobilisée en support du projet.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

Les orientations générales du projet énoncées dans la partie précédente se sont déclinées de manière plus précise autour des quatre axes :

- Consolidation de la base de données territoriale (usage des sols, socio-économiques, politiques, sols et climats) sur les départements du Vaucluse et des bouches-du-Rhône sur plateforme géomatique GeOpen4S.
- Calcul des différents indicateurs à l'échelle régionale sur la production végétale (agricole et forestière), le risque incendie et les ressources hydriques et application, selon les indicateurs, sur la plaine de la CRAU (agrosystèmes), le massif du Ventoux (forêt) ou l'ensemble du territoire d'étude (aléa incendie).
- Modélisation des changements d'usage des sols et des systèmes de production agricole en fonction des déterminants micro-économiques, sociaux, politiques, géographiques et les potentialités agricoles et leur évolution dans un cadre de changement climatique.
- Pour mieux appréhender la variabilité climatique, nous avons développé un outil de simulation capable de générer des séries météorologiques multivariées et multi-sites, avec une reproduction adéquate des événements extrêmes. Nous nous sommes limités pour l'instant à la simulation multi-sites de chroniques stationnaires.

METHODOLOGIE

A) CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES REGIONALE

Contribution au développement d'un outil collectif pour la gestion des données

Les ressources de la plateforme GeOpen4S (service géomatique du centre INRA PACA) ont été utilisées pour héberger les données (base postgre ou serveur de stockage NAS), les porter à connaissance via un outil de catalogage (Geonetwork), et publier certaines de ces données afin de simplifier leur usage au sein de la communauté VIGIE-MED (Lizmap et Geoserver). Sur ce plan, la mise en œuvre de VIGIE-MED a été à l'initiative de travaux d'ingénierie autour des outils proposés par la plateforme. En particulier, nous avons exploré les liens entre le serveur cartographique et le catalogue qui offrent la possibilité à un utilisateur identifiant une donnée via le catalogue, de la visualiser immédiatement sur un fond cartographique sans passer par un outil tiers. Ce travail a permis de démocratiser l'usage du catalogue pour les données dites "spatiales" et est maintenant régulièrement exploité par d'autres utilisateurs de la plateforme GeOpen4S qui souhaitent valoriser ce type de données.

Constitution des données pour l'analyse des dynamiques territoriales d'usage des sols

Un premier travail a porté sur l'enrichissement de la base parcellaire développée par ECODEV pour mieux suivre les évolutions du parcellaire et les facteurs qui jouent sur les changements d'occupation des sols (OS) en partenariat avec les équipes impliquées dans le projet Urbansimul (voir fait marquant "Partenariat"). L'ensemble des millésimes des Plans Cadastraux Informatisés (PCI) de 2007 à 2014 ont été mobilisés pour construire un cadastre historique assurant une meilleure géolocalisation des informations sur la propriété foncière (biens fonciers et immobiliers - données MAJIC) et des

structures des exploitations agricoles (données RPG1, CCMSA, et MSA2 – mutualité agricole), assurant un taux de géolocalisation des informations foncières de 99,91 %. L'ensemble des documents d'urbanisme ont été intégrés au format vectoriel sur la période 2000-2015. Ainsi, sur la zone PACA, ont pu être reconstitués les changements annuels des 4,5 millions de parcelles (bâti ou pas, surface physiquement et/ou réglementairement constructible, nature de culture, culture irriguée, évolution du parcellaire, mutation foncière et prix).

Une seconde tâche consistait à enrichir la série historique du parcellaire d'informations sur les facteurs jouant à différentes échelles spatiales et temporelles sur les changements d'usage du sol. Pour chaque parcelle, une trentaine de variables de plus courte distance (au noyau villageois, équipements publics, réseaux, aménités ou désaménités environnementales, ...), de configuration spatiale (forme, nombre de parcelles à traverser pour atteindre une route...) et sur le type des propriétés (privé, public, taille propriété...). A l'échelle de la commune, une série d'indicateurs clés, issus des RGA3 2000 et 2010, a été développée sur les pratiques agricoles (assolement, rentabilité économique, pratiques telles que l'irrigation et conversion traditionnelle/bio). Les données RGA collectées au niveau de l'exploitation ont permis d'obtenir des classifications par type d'exploitation et offrent une profondeur historique plus importante (1970-2010) que celle des bases telles que la MSA (limitée à 10 ans).

Un troisième travail a porté sur l'évaluation de la qualité des données parcellaires MSA pour servir de référence dans une procédure de classification objet de données satellitaires s'appuyant sur l'usage couplée des limites du parcellaire agricole et des classifications de type de culture dans la base de données parcellaires MSA d'un côté et des données satellites sur les couverts. Si les données MSA présentent l'intérêt de raccorder des parcelles à une exploitation, information intéressante pour certaines analyses, leur apport dans la classification par télédétection n'a pas été convaincant du fait d'erreurs dans les données MSA et des classes pas toujours appropriées. Parallèlement deux chantiers de classification plus classiques ont été réalisés. Le premier dédié à la cartographie des combustibles en faisant un inventaire des formations forestières à partir d'images à haute résolution rapideye (5 mètres). La classification a abouti à une douzaine de catégories d'occupation du sol et de structures de végétation du type boisé dense, peu dense, non boisé, sur lesquelles on distingue au mieux feuillu ou résineux. Le second consistait à faire une série d'usage des sols à 6 dates sur la période 1975 à 2014 réalisée sur la plaine de la CRAU.

Caractérisation du milieu biophysique

Les données météorologiques SAFRAN (historique [1960-2013]) et les projections climatiques du scénario QQA1B [1960-2100]) ont été intégrées dans une base de données, et un outil permet aux utilisateurs d'obtenir des fichiers climatiques compatibles avec nos modèles biophysiques en précisant les mailles d'intérêt et la période requise. Concernant la carte des sols un important de travail de numérisation des profils pédologiques de référence (~800 sur le Vaucluse) a été réalisé dans la base

¹ Registre du parcellaire agricole. Cette base de données recueille tous les ilots des exploitations qui ont fait demande de subvention à la Communauté Européenne dans le cadre de la politique agricole communautaire.

² Mutualité agricole. Cette base recueille les déclarations des exploitants pour les services de la mutualité.

³ Recensement Général Agricole

DONESOL d'INFOSOL⁴. Ces données permettent de caractériser les propriétés hydrauliques des sols via des fonctions de pédotransfert.

B) CARACTERISATION DES INDICATEURS SUR LA PRODUCTION VEGETALE ET LES RESSOURCES HYDRIQUES

Les indicateurs recherchés concernaient la production végétale, le drainage pour caractériser la restitution d'eau au milieu, le bilan hydrique des aquifères et l'aléa incendie. L'enjeu du projet est de produire ces indicateurs à l'échelle de temps annuelle et à haute résolution spatiale (< km) pour rendre compte de l'hétérogénéité spatiale complexe en milieu méditerranéen. Pour la partie incendie, des cartes d'aléas ont été produites. Celles-ci sont des éléments nécessaires à l'évaluation des pertes de production ou de la dégradation de certains services écosystémiques liés aux incendies de forêt. Elles fondent aussi les politiques réglementaires de protection des biens et des personnes.

Indicateurs sur la production végétale et les ressources hydriques

L'approche suivie est de mettre en œuvre des modèles à base écophysiological pour représenter par une approche multilocale la production végétale, la mortalité dans le cas des couverts forestier et les échanges d'eau avec le milieu (irrigation, drainage). Les modèles utilisés ont été le modèle de culture STICS pour les grandes cultures et les prairies, le modèle CASTANEA pour les forêts et le modèle ISBA-Gs sur les autres types de surface. Deux zones ont été modélisées : le Ventoux pour les forêts et la plaine de la Crau pour les zones cultivées. Dans ce dernier cas, un couplage du modèle de surface (regional STICS⁵) a été réalisé avec le modèle de nappe MODFLOW pour appréhender l'impact des changements climatiques sur le niveau de la nappe.

Nous avons travaillé sur l'adaptation des modèles aux couverts considérés et en particulier le modèle CASTANEA. Nous l'avons paramétré sur quatre des espèces (Chêne vert, Chêne pubescent, Hêtre et Sapin) et un travail d'analyse bibliographique a permis de déterminer les caractéristiques écophysiological de deux essences supplémentaires (Pin sylvestre et Cèdre) qu'il sera aisé d'inclure dans nos analyses ultérieures. Le modèle a été validé sur les données de croissance pour le Sapin et un module de mortalité a été développé et validé (Davi et Cailleret soumis).

Les travaux ont porté sur la mise en œuvre de ces modèles en cherchant à représenter la variabilité spatiale en s'appuyant sur l'utilisation des couches d'information disponibles. La caractérisation des sols est toujours un point délicat à l'échelle régionale. Dans le cas des forêts, nous avons estimé les réserves en eau de surface à partir d'une réanalyse des données issues de 86 fosses pédologiques. La forte teneur en éléments grossiers ($65 \pm 16\%$) et la faible profondeur des sols (521cm) conduisent à des très faibles réserves utiles en surface ($RU=30 \pm 6\text{mm}$). Néanmoins, par analyse isotopique, nous avons montré que le Hêtre, le Sapin et le Chêne vert sont capables de puiser jusqu'à 50% de leur eau dans l'épikarst (Cakpo 2015). En tenant compte de ces réserves, les RU s'élèvent à 51 Pédoles.
 Pour les sols de la plaine de la Crau, nous avons réalisé une analyse de variance sur les observations des profils pédologiques, ce qui nous a permis d'identifier 5 classes de sols, pour lesquelles nous avons appliqué des paramètres moyens. Pour le climat, il n'existe pas de produits spatialisés adaptés aux zones de

⁴ Unité de service INRA dédiée aux bases de données sol françaises (Orléans)

⁵ <https://www6.inra.fr/agadapt/Regional-planning/Model/Regional-STICS>

montagne. Les gradients altitudinaux de température, d'humidité de l'air et précipitations ont été caractérisés à partir d'un réseau de stations climatiques. Les données SAFRAN ont été utilisées en plaine de CRAU. Sur des variables telles que les précipitations, ces données s'avèrent être plus précises que des interpolations entre stations. Enfin les itinéraires techniques, et en particulier la gestion des prairies irriguées a fait l'objet de développements spécifiques pour produire leur représentation spatio temporelle.

Des développements informatiques ont été réalisés pour transférer dans RECORD les codes informatiques pour la simulation du climat et la représentation des zones cultivées par le modèle STICS. La méthodologie a consisté à s'appuyer sur les services suivants offerts par la plate-forme RECORD⁶: i) couplage dynamique ii) le module de modélisation décisionnelle et iii) le paquet encapsulant le modèle le modèle de culture STICS. Afin de pouvoir externaliser la représentation des itinéraires techniques agricole, qui pourraient être le résultat de processus complexes intégrant l'organisation spatiale du territoire et l'évolution du climat, nous avons couplé STICS à un module de décision. Par ailleurs, un workflow a été conçu et développé pour gérer les multisimulations du modèle couplé STICS-Décision. Le workflow pré-existant étant basé sur Matlab, une interopérabilité entre RECORD et Matlab a dû être conçue et implémentée au préalable. Une difficulté rencontrée a concerné les temps d'exécution des modèles couplés qui sont en cours de résolution.

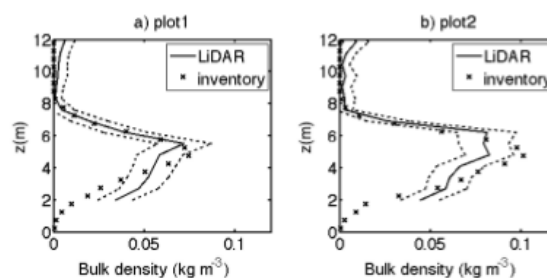
Evaluation de l'aléa incendie

Le chêne pubescent est la première essence feuillue de la région PACA. La combustibilité des formations à chêne pubescent est peu connue, or on s'attend, dans le contexte du changement climatique, à une augmentation du risque d'incendie dans ces formations. Dans le cadre du projet VigieMed les principales formations à chêne pubescent du Vaucluse ont été visitées avec l'appui de la DDT du Vaucluse et trois sites représentatifs et contrastés ont été installés (Mont Ventoux, Monts du Vaucluse et Luberon). Sur chaque site, un inventaire de tous les éléments combustibles a été réalisé afin d'en caractériser le comportement au feu. Dans un objectif de généralisation, des relations allométriques prédisant la biomasse par classe de diamètre de combustible ont été établies sur le chêne pubescent (Figure 1) et sa végétation accompagnatrice comme le genévrier commun. Ce travail a permis d'affiner la caractérisation des principaux types de combustible à intégrer dans la carte d'aléa feu de forêt.

Pour remplacer à terme cette approche par « inventaire », coûteuse en temps, nous avons développé une méthode qui a permis pour la première fois d'estimer la distribution 3D de la biomasse foliaire sur des petites placettes à partir de données LiDAR. Combinant théorie et calibration légère, elle pourrait devenir une méthode de référence pour la caractérisation du combustible fin et le suivi non destructif de la végétation dans le contexte des changements globaux. Notre méthode a permis de reproduire les distributions verticales de biomasse foliaire sur quatre placettes de chênes pubescents de hauteurs et de densités variées. Les distributions produites par la méthode « LiDAR » sont très proches de celles obtenues avec la « méthode d'inventaire » (Figure 1).

⁶ Plateforme de modélisation dédiées au agrosystèmes (<https://www6.inra.fr/record>)

Figure 1. Profils de masse volumique des feuilles en fonction de la hauteur dans 2 placettes de Chêne pubescent estimées par les méthodes « LiDAR » (lignes continues et intervalle de confiance en pointillés) et « inventaire » (extraît de Pimont et al. 2015).



L'élaboration de la carte d'aléa feux de forêt du Vaucluse a été réalisée à partir de la carte des formations végétales boisées mentionnée précédemment. Un post traitement a été fait afin de corriger certaines erreurs au moyen de bases de données spatialisées d'occupation des sols ainsi que de certains indices dérivés de l'image satellite tel que le NDVI. A l'aide du fond BD topo et de la base cadastrale, le post traitement a également permis de préciser certains types à l'interface habitat-forêt n'ayant pas le même comportement au feu selon la densité de l'habitat et la végétation interstitielle. Le croisement avec la couche IFN a enfin permis d'identifier les espèces forestières dominantes. La caractérisation de la combustibilité des types de végétation identifiés a été réalisée au moyen de données de la littérature ou des résultats acquis sur les zones à Chêne pubescent. L'évaluation de la combustibilité des couverts végétaux a été étendue à l'ensemble du département. A cette étape, les facteurs combinés de vent et de pente ont été intégrés pour estimer une vitesse attendue de propagation du feu dans les conditions de référence (vent et niveau de sécheresse), puis l'évaluation d'une puissance de front de feu en chaque point de la carte de végétation.

C) REPRESENTATION DES FORCAGES INDUITS PAR LES CHANGEMENTS GLOBAUX

Développement du simulateur de Climat

Développer un générateur stochastique multi-site et multivarié a nécessité de définir de nouveaux modèles statistiques spatio-temporels multivariés, qui soient à la fois non triviaux et suffisamment riches pour décrire les interactions parfois complexes entre espace, temps et variables. Les développements ont été validés sur deux jeux de données en Bretagne et sur la zone d'étude VIGIE-MED

Par ailleurs, le générateur de données météorologiques WACS-Gen, développé à l'INRA au sein de l'unité BioSP et précurseur du générateur développé dans VIGIE-MED a été implémenté dans RECORD.. Ce générateur permet la simulation journalière de cinq variables climatiques et comprend une partie « estimation » pour caractériser les statistiques du générateur et une partie « simulation ».

Modélisation des changements d'usage et de la dynamique des systèmes de production agricole

Cette phase du projet a l'objectif d'arriver au développement d'un outil de modélisation intégrant à la fois les changements entre espace agricole et urbain (ou naturel) et aussi les changements intra-agricole. Ainsi, on cherche à représenter des processus d'urbanisation ou d'abandon agricole et leur possible évolution future dans un territoire comme celui du bassin Méditerranéenne où l'on observe à la fois un fort mouvement de périurbanisation et la poursuite de l'abandon agricole dans les zones marginales. Par ailleurs, on voudrait aussi essayer de comprendre et représenter d'autres processus plus spécifiques des espaces agricoles, comme ceux de l'intensification des pratiques agricoles, de la

fragmentation des parcelles ou de l'extensification des systèmes agricoles. Ces processus de transition ont en fait des effets très importants sur les territoires et sur les fonctions fournies par les paysages agricoles. La compréhension de ces processus en cours facilitera la compréhension des systèmes d'adaptation susceptibles de maintenir dans le futur les fonctions agricoles et écosystémiques d'intérêt.

Un premier travail a porté sur la caractérisation des systèmes de production agricole à l'échelle des exploitations agricoles visant à identifier des trajectoires de changement qui ne soient pas seulement des changements d'usage, mais qui tiennent également compte de la structure de l'exploitation agricole. Pour cette raison nous avons utilisé les données du recensement agricole à l'échelle de l'exploitation. La méthode développée comprend quatre étapes : 1) définition d'une typologie des systèmes agricoles, 2) analyse des dynamiques spatio-temporelles des systèmes agricoles (trajectoires de changement), (3) identification des déterminants et des variables qui expliquent les dynamiques passées et (4) mise en relation de l'évolution des déterminants avec la distribution spatiale des changements de systèmes agricoles pour une explication des changements passés et une prédiction des changements futurs d'usage du sol. Le terrain d'étude initial pour tester cette méthode a été le département de Vaucluse du fait de la bonne disponibilité de données. Par ailleurs l'échelle départementale permet d'avoir une bonne variabilité de systèmes agricoles identifiés. Le modèle en développement s'appliquera principalement aux échelles de l'exploitation agricole, en représentant les trajectoires des systèmes agricoles, et communale donnant le taux de changement des exploitations agricoles.

Un second travail a été mené sur la caractérisation de l'évolution du parcellaire (propriété, structure, couvert). L'évolution de la structure du parcellaire (fusion, division, extension, ...) entre 2007 et 2014 a été réalisée en 8 classes par l'analyse géomatique de l'évolution des géométries des parcelles et des unités foncières : ces évolutions sont souvent des précurseurs d'opération d'urbanisation ou d'installation d'équipement. Un travail similaire a été menée sur la caractérisation de la propriété selon le type et le nombre de propriétaires, le type de droit et sur les mutations (nombre de vente, prix). Enfin les évolutions sur le bâti (bâtie/non-bâtie, nombre de locaux, hauteur et construction sur-étage, type de local résidentiel-commercial-industriel). Le croisement de ces trois types d'évolution a permis de dresser un inventaire exhaustif et très détaillé des évolutions de l'état du parcellaire sur plus de 4 millions de parcelles constituant une base de données unique en France permettant de caractériser tous les chemins d'évolution conduisant à différentes formes de production de locaux. Ces données doivent servir de base à des modèles statistiques de changement d'état à l'échelle de la parcelle en s'appuyant en grande partie sur les travaux menés au sein du projet Urbansimul⁷ en élargissant les approches binomiales, à des approches multinomiales, permettant de prendre en compte plusieurs évolutions possibles d'une parcelle.

⁷ URBANSIMUL est un outil d'analyse et de simulation de l'occupation du sol et de sa régulation à l'échelle parcellaire sur l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur autour duquel sont organisés plusieurs projets de recherche du centre INRA PACA sur la modélisation des changements d'occupation du sol (vigie-med ACCAF, Lumecos, PRECOS). Il traite toutes les informations géographiques et foncières actuellement disponibles et la grande majorité des contraintes physiques et légales existantes, selon une série de règles statistiques et géomatiques, et les met à disposition des acteurs publics de la gestion de l'urbanisme via un serveur web sécurisé. Les données intégrées par Urbansimul sont consolidées en continu grâce à un module permettant aux utilisateurs de corriger et déposer des données. Urbansimul propose aux acteurs publics de la planification urbaine et de la prospection foncière un repérage automatique des parcelles intégralement ou en partie disponibles pour l'urbanisation.

RESULTATS OBTENUS

A) CARACTERISATION DES INDICATEURS SUR LA PRODUCTION VEGETALE ET LES RESSOURCES HYDRIQUES

Devenir de la production agricole et les ressources hydriques sur la plaine de la CRAU

Le simulateur composé de modèles de surface (Regional STICS) et du modèle de nappe (MODFLOW) a été évalué sur des données recueillies sur plusieurs exploitation (pour la production agricole et l'irrigation des prairies à l'échelle de l'exploitation), les relevés de débit à l'entrée et l'exécutoire des canaux (pour évaluer l'eau prélevée par l'irrigation à l'échelle du périmètre irrigué) et la piézométrie pour l'évaluation du bilan de la recharge et des prélèvements dans la nappe. Les résultats montrent que les ordres de grandeur sont respectés et que le simulateur représente bien la variabilité interannuelle (Figure 2). On voit bien notamment la baisse du niveau piézométrique au cours des années 2004-2007 correspondant à une succession d'années sèches et le retour à une situation normale par la suite avec des années plus pluvieuses. Le cycle annuel observé sur le puits P42 est lié à l'irrigation gravitaire et illustre bien le poids de celle-ci dans le mécanisme de recharge.

Des simulations sur l'impact des changements climatiques ont été réalisées sur une période 2030-2050 avec les scénarios A1B et le RCP8.5. Ces scénarios ont été couplés avec des changements d'usage des sols correspondant à différents scénarios de développement conduisant à une réduction de 6 à 11 % des prairies irriguées et avec une baisse de 30% de la dotation en eau venant du système Durancien. Cette baisse est jugée réaliste si on considère différentes évolutions possibles, telles que la diminution des précipitations sur les massifs alpins, l'augmentation du débit réservé ou encore des arbitrages d'allocation en eau moins favorables à l'agriculture.

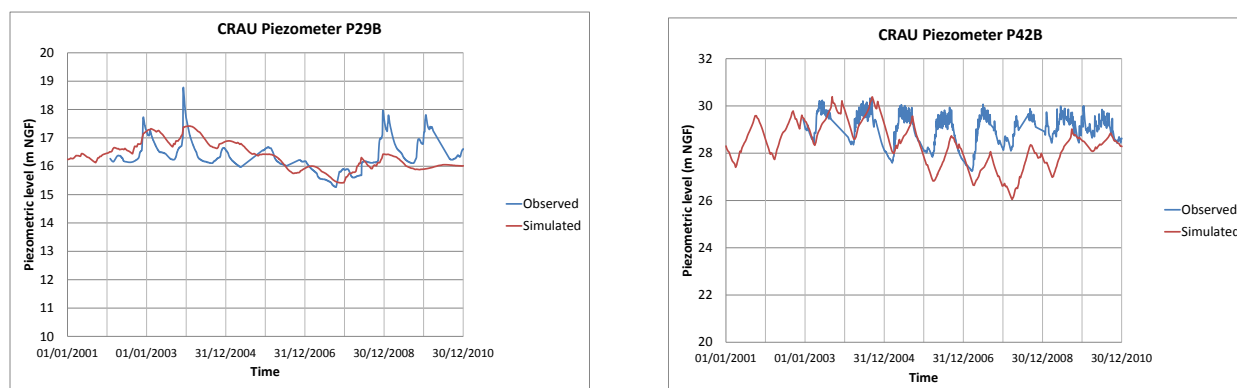


Figure 2 : comparaison du niveau piézométrique mesuré et simulé

Si on considère le changement climatique seul, le changement le plus significatif concerne l'évapotranspiration en particulier sur les prairies (7%), les zones humides, les vergers et les forêts en supposant qu'il n'y a pas de limitation d'eau du fait de la proximité de la nappe et la possibilité d'irriguer sans contraintes. Pour les cultures annuelles l'évapotranspiration n'augmente que très légèrement du fait de la réduction du cycle de culture. Dans le cas des prairies, l'augmentation de la demande climatique engendre une augmentation des besoins en irrigation qui n'a pas d'impact sur la recharge de la nappe. En ce qui concerne les précipitations sur la zone, le cumul annuel reste stable de même que la variabilité inter-annuelle. Sur le plan de la production végétale, la production d'herbe est

plutôt impactée positivement avec une augmentation de 10% de la production principalement liée à l'augmentation de la température et l'allongement du cycle végétatif.

La réduction de la dotation en eau pour l'agriculture de 30% se répercute sur la recharge avec un impact très fort sur la nappe puisqu'on pourrait observer un rabattement de plusieurs mètres dans les zones de prairie irriguée. La redistribution de l'eau libérée par les pertes de surfaces cultivées sur les parcelles restantes n'enraye que de manière très partielle le processus.

Effet du changement climatique sur la croissance des forêts du Mont Ventoux

Nous avons simulé la croissance des principales essences d'intérêt de 1960 à 2100 (Scénario A1B) en prenant des bandes altitudinales de 200m. Ces simulations ont été faites pour 3 réserves utiles et 3 niveaux de fermeture du couvert à partir du premier quartile, de la moyenne et du troisième quartile des valeurs mesurées. Suivant le scénario A1B, les températures augmentent de 3.7°C entre la période actuelle et après 2080, induisant une augmentation de 25% du stress hydrique. Nos simulations indiquent que la photosynthèse du Hêtre augmenterait de 21% et celle du Sapin de 25%, mais les respirations augmenteraient respectivement de 110 et 75%. Nous projetons une forte baisse de croissance de 35% pour le Hêtre et de 43% pour le Sapin. Mais avant 2080, des seuils létaux (réserves négatives) sont franchis (Figure 3). Le Sapin disparaîtrait totalement d'ici 2030 et le Hêtre d'ici 2050. Le dépérissement sera plus rapide à basse altitude pour le Sapin, alors que nous n'avons pas trouvé d'effets significatifs de l'altitude pour le Hêtre. Néanmoins, nous n'avons pas ici pris en compte les potentialités d'acclimatation et nous avons travaillé que sur une seule cohorte.

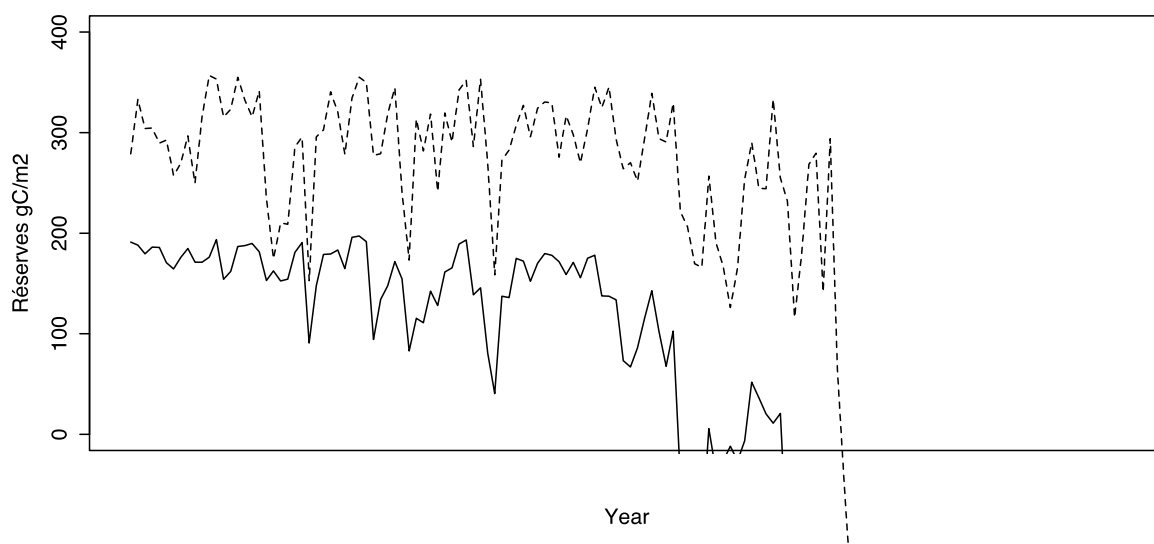


Figure 3: Projection du niveau de réserves du Hêtre (trait pointillé) et du Sapin (trait continu) avec le scénario A1B sur les gammes d'altitudes où les essences sont présentes (1100-1500 pour le Sapin et 900-1700 pour le Hêtre)

Incendie de forêts

La classification réalisée sur l'image du Vaucluse d'août 2010 aboutit à distinguer 34 types de végétation (Figure 4). La puissance locale du feu caractérise une composante de l'aléa de feu de forêt, à savoir l'intensité : très faible (0 – 350 kw/m) ; faible (350 – 1500 kw/m) ; moyen (1500 – 3500 kw/m) ; fort (3500 – 7000 kw/m) et très fort (>7000 kw/m). Au-delà de 7000 kW/m, on considère qu'un feu n'est plus maîtrisable même avec des moyens aériens, sauf dans sa phase initiale de démarrage. Les formations forestières de la zone d'étude présentent une intensité de feux de forêt classée fort à très fort, sauf pour les milieux naturels situés en altitude, essentiellement localisés dans le Vaucluse. Avec le changement climatique, on anticipe une remontée en altitude des espèces plus thermophiles qui pourrait conduire, à dire d'experts, à un aléa plus fort aux altitudes moyennes ou élevées. Pour des espèces déjà présentes en moyenne montagne, on s'attend aussi à un aléa plus fort : ainsi en Catalogne espagnole, l'étage du chêne pubescent a déjà été touché par des méga-feux (Solsona, 24 000 ha en 1998). Les dépérissements annoncés dans l'étage du Hêtre et du Sapin pour la fin du siècle préfigurent de profonds changements de la combustibilité de ces formations forestières. Les outils développés à l'URFM (modélisation de la dynamique des peuplements, des bilans hydriques et du feu) permettront à moyen terme de réaliser les simulations nécessaires dans une large gamme de scénarios climatiques et de formations végétales. Les verrous à lever sont pour cela de mieux comprendre et prédire la réponse des plantes (arbres, mais aussi arbustes et strate herbacée) à la sécheresse et ses conséquences en termes de biomasse, de teneur en eau et de structure du combustible. Cette carte ne prend pas en compte une autre composante de l'aléa, l'occurrence du feu (probabilité de passage en un point de la carte), liée à la fréquence des départs de feu et leur surface. La fréquence des feux est beaucoup plus élevée dans les Bouches du Rhône que dans le Vaucluse. En première approche, cela est lié aux différences de densités de population et des réseaux de transport, qui doivent être prises en compte pour une évaluation complète de l'aléa. Des approches statistiques permettent de modéliser la fréquence des feux en fonction de ces facteurs liés à l'activité humaine et de réaliser des projections sous des scénarios d'utilisation du territoire.

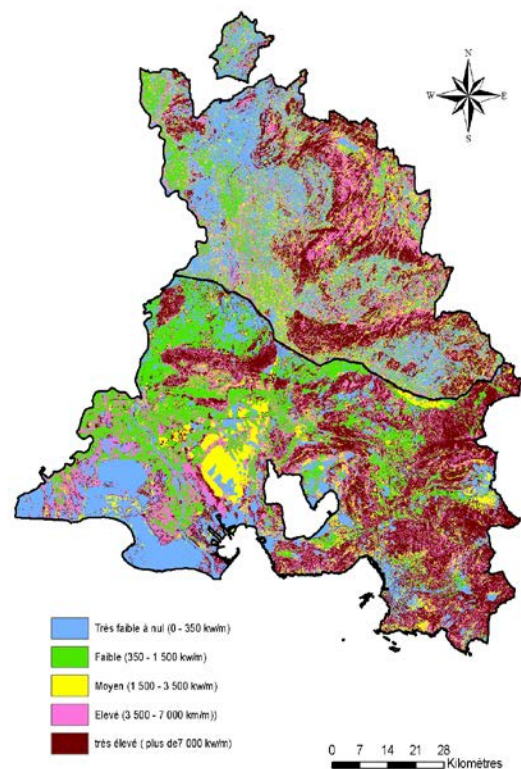


Figure 4 Carte d'aléas feux de forêt du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône

B) REPRESENTATION DES FORCAGES INDUITS PAR LES CHANGEMENTS GLOBAUX

Développement du simulateur stochastique de climat

Dans Bourotte et al. (2015, soumis à Spatial Statistics) nous avons construit une nouvelle classe, valide, non séparable et flexible, de fonctions de covariance spatio-temporelles et multivariées. Ce résultat de nature mathématique est nouveau et à la pointe de la recherche actuelle dans le domaine des méthodes statistiques multivariées. Une méthode d'estimation, basée sur la vraisemblance composite par paire, a été testée avec succès. Sur deux jeux de données différents, on a pu montrer que ce nouveau modèle améliorerait tous les critères de performance en termes de prédiction et de simulation. Un code prototype a été développé et testé sur la zone d'étude du projet VIGIE-MED.

Le travail réalisé dans le projet a permis aux unités impliquées (BioSP, UMR MIA/AgroParisTech) de participer pleinement à la communauté des chercheurs qui, en France et à l'étranger, travaillent sur le développement et l'utilisation des générateurs stochastiques de données météorologiques. Le soutien d'ACCAF dans ce projet a donc été un élément déterminant de ce programme de recherche sur les générateurs stochastiques.

Modélisation des changements d'usage et de la dynamique des systèmes de production agricole

Pour ce qui concerne les changements intra-agricoles, dans la zone d'étude trois trajectoires principales ont été identifiées :

- spécialisation de la production pour évoluer vers des systèmes plus rentable, parfois labélisées (par exemple de vigne pour la production de vin de table vers des vignes pour production AOP ou IGP) et moins diversifiés
- intensification sur certains systèmes agricoles, avec une utilisation de plus en plus fort d'intrants et d'irrigation
- l'extensification de l'agriculture. Cette trajectoire assez spécifique de l'agriculture en zone à forte demande touristique, conduit à privilégier d'autres services (tourisme rural, paysage).

L'identification spatiale de ces dynamiques (Fig 5) peut être un système d'appui à la programmation territoriale car on peut mettre en relation les dynamiques observées avec les potentialités agro-pedo-climatique de la zone et aussi avec une série de facteur socio-économiques. De plus, la proposition de possibles stratégies d'adaptation passe forcément par l'identification des dynamiques et de leurs déterminants, sur lesquels on peut agir.

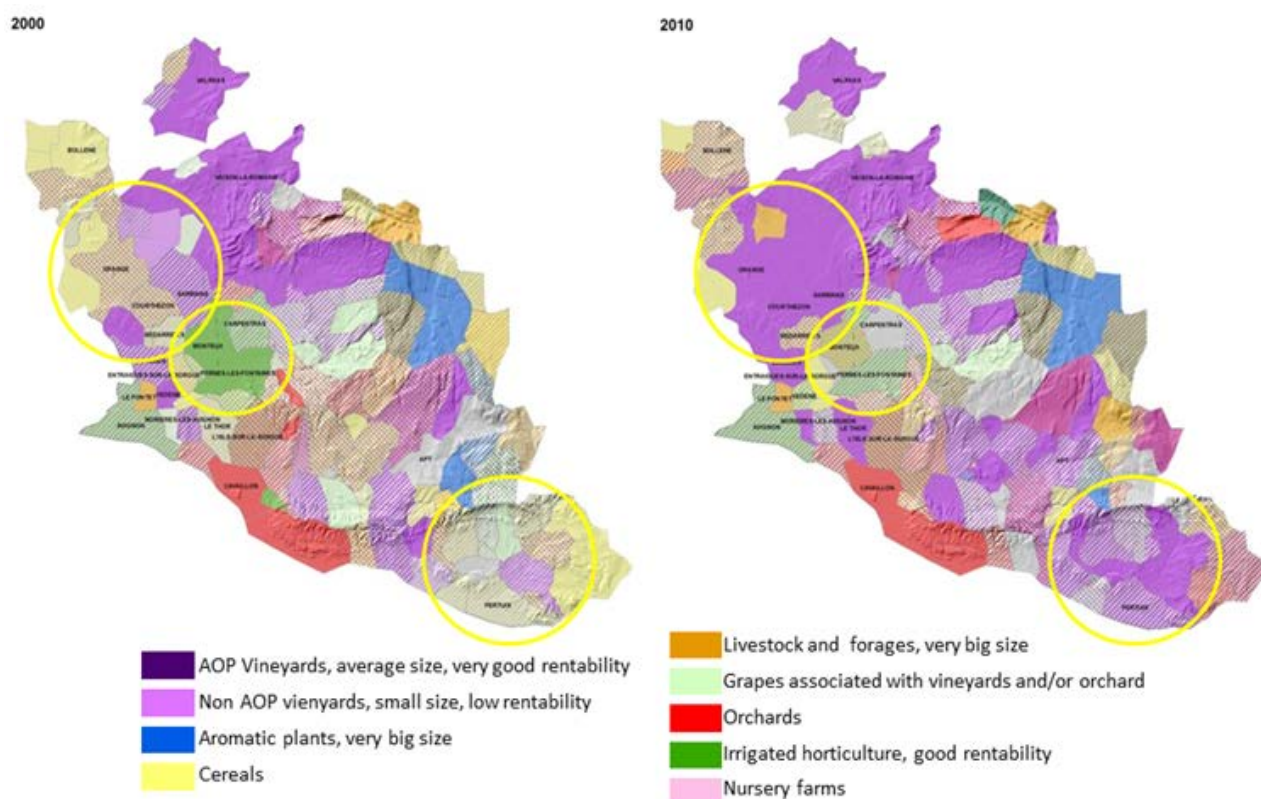


Figure 5 : cartographie des systèmes de production agricole sur le département du Vaucluse en 2000 (figure de gauche) et 2010 (Figure de droite). Les zones à fort changement sont identifiées par les cercles jaunes.

Les outils et méthodes développés dans le cadre de la modélisation des occupations du sol s'appuient en grande partie sur les travaux menés au sein du projet Urbansimul. Les estimateurs statistiques, que nous pensions utiliser, s'appuyaient sur une extension de la méthode GMM linéarisée pour les modèles logit avec autocorrélation spatiale, qui avaient été étudiées dans leur version binomiale. Les extensions au cas multinomial et multinomial panel se sont révélées infructueuses (Diallo and Geniaux, 2012), avec une présence de biais dans l'estimation des paramètres de dépendance spatiale associés aux différents choix d'usage des sols. A l'issue du présent projet, en collaboration avec un post-doctorant INRA financé dans le cadre d'un autre projet à partir de fin 2014, nous avons finalement réussi à concevoir et valider un estimateur par maximum de vraisemblance approximé (méthode Mendel-Elston) adapté aux modèles binomiaux avec dépendance spatiale, estimable sur grands échantillons (Martinetti and Geniaux 2015, in prep), et dont l'extension au cas multinomial ne semble plus poser de difficulté majeure.

Les travaux empiriques portant sur l'identification des facteurs jouant sur les changements d'occupation du sol se sont essentiellement appuyés sur des modèles de probabilité de changement binomiaux visant à expliquer l'urbanisation des parcelles (non-bâtie/bâtie, non-constructible/constructible) (Diallo and Geniaux 2015). Un travail d'évaluation des effets de l'offre foncière (évolution des zonages des documents d'urbanisme) sur les prix a été mené Geniaux and al. 2015): Ce type de méthodes d'évaluation causale appliquées à des données spatiales ont par ailleurs vocation à être réutilisées pour calibrer les modèles de simulation de scénario dans les recherches à

venir sur ce sujet car elles permettent une évaluation plus robuste des effets de certaines variables, notamment celles relatives à des actions publiques s'appliquant à la gestion des territoires.

Enfin, le modèle de simulation de l'évolution de l'OS intégré dans Urbansimul, sur lequel s'appuie Vigie-Med, a évolué en articulant le modèle de probabilité de changement d'OS à l'échelle parcellaire et un modèle de projection démographique à l'échelle communale, développé dans projet, pour estimer le volume de nouveaux logements et leur répartition spatiale (Geniaux and Lopez-Koldosky 2015) Un package R, a été développé pour mettre à disposition de la communauté scientifique ce nouveau type d'estimateur.

Pour être en capacité de produire des scénarios de gestion des territoires et leur incidence sur les indicateurs territoriaux, nous avons besoins de consolider les outils développés notamment en finalisant le modèle de changement basé sur un choix multinomial. Pour cela, l'estimateur du maximum de vraisemblance approché ouvre des perspectives intéressantes.

IMPACT DE LA RECHERCHE: IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION

- Implications pratiques :

Les développements faits sur RECORD ont une portée générique qui augmente les fonctionnalités de la plateforme (interfaçage avec Matlab, mise en œuvre de la multi-simulation, couplage de STICS avec un modèle de décision et intégration dans un workflow pour la multi-simulation) et sa pertinence pour traiter des changements climatiques.

Le résultat mathématique établi dans Bourotte et al. (2015) est un résultat générique important pour la modélisation des données multivariées spatio-temporelles. Il ouvre de nouvelles voies de modélisation dans tous les domaines d'application des statistiques pour les données spatio-temporelles.

- Recommandations et limites éventuelles :

Les résultats obtenus sur le Ventoux et la plaine de la Crau conduisent à des résultats très clairs sur le devenir de certaines essences forestières (Hêtre, sapin) ou l'impact sur des changements climatiques sur l'aquifère de la Crau à moyen terme (2030-2050). A cette échéance, le devenir de la nappe est plus conditionné par l'arbitrage de la dotation d'eau de la Durance que l'impact du changement climatique.

- Réalisations pratiques et valorisation :

La suite logicielle Régional STICS-MODFLOW est maintenant implémentée au niveau du SYMCRAU, syndicat de gestion de la nappe pour ses études prospectives. Une personne a été recrutée pour cela. Le SICAS, gestionnaire du Canal des Alpines a pris contact avec nous pour savoir si une opération identique à la Crau pourrait être menée sur leur territoire. Enfin la suite a été mobilisée par les étudiants de l'Université d'Avignon pour une étude sur l'aquifère d'Avignon

Concernant le générateur stochastique multivarié et multisite, un code prototype, apportant la preuve du concept, a été écrit. A l'issue de cette thèse et du projet VIGIE-MED, il restera du travail à effectuer pour rendre ce code diffusable. Des ressources complémentaires devront être trouvées pour mener ce travail à bien.

Le Carrefour de l'Innovation Agronomique sur adaptation des forêts méditerranéennes aux changements climatiques été organisé en Avignon en Novembre 2015. Il a rassemblé 100 participants et conduit à la publication du Volume 47 de la revue Innovations Agronomiques

Les résultats obtenus dans VIGIE-MED ont fortement contribué à la note de synthèse sur les changements climatiques en région (coordonné par le collectif du GREC - PACA) sur les aspects eau, agriculture et Forêt.

Le projet a contribué à améliorer le logiciel Urbansimul qui a été retenu par la région PACA comme outils d'analyse des dynamiques territoriales. Un important travail de développement informatique sera réalisé pour en faire un logiciel opérationnel

PERSPECTIVES

Le projet VIGIE-MED a été structurant au niveau d'Avignon (moins avec les partenaires plus éloignés) pour harmoniser au sein du pôle Adaptation aux Changements Globaux du centre PACA les travaux sur les différents écosystèmes en lien avec les dynamiques territoriales. Il y a une réelle volonté de maintenir ce niveau de structuration pour coordonner les développements sur le territoire d'étude partagé et le plateau géomatique Geopen4S.

Le travail initié sur les générateurs climatiques va se poursuivre. Dans le cadre d'une thèse, un développement porte sur la construction de modèles statistiques spatio-temporels inspirés par une version stochastiques d'EDP gouvernant l'évolution de l'atmosphère. Une autre action concerne le downscaling multi-site dans le cadre du générateur WACSGen. Enfin, le projet DESIRES nous donnera les moyens de poursuivre les développements informatiques issus de la thèse financée dans le cadre de VIGIE-MED.

Sur la composante dynamique des territoires, nous avons été associés au projet VITAL qui vient d'être accepté dans le cadre de l'AAP FACCE-Surplus. Un projet, A-WISEMED avait été déposé à l'ERANET med. Il n'a malheureusement pas été retenu.

Le projet VIGIE-MED a été l'incubateur du projet LiDARFORFUEL cofinancés par la région PACA et le département EFPA). Celui-ci devra permettre de développer une méthode opérationnelle de mesure non destructive de la structure du couvert végétal qui sera d'une grande utilité dans le contexte des changements globaux.

POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

Bourotte M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) A Flexible Class of Non-separable Cross-Coavarince Functions for Multivariate Space-Time Data (submitted to Spatial Statistics). ArXiv 1510.07840.

Cakpo CB 2015. Etude du bilan hydrique en contexte forestier méditerranéen, approche par géophysique, traçage isotopique, modélisation écophysologique. Mémoire de fin d'étude. Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement ; mention (Forêt Agronomie et Gestion des Ecosystèmes), spécialité : « Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes ».

- Diallo A. and G. Geniaux, (2015), Spatial logit for large samples with local spatial lag and regional spatial random effects using linearized gmm: an application to land use models, Submitted to Journal of Regional Science.
- Géniaux, G., C. Napoleone, and B. Leroux, (2015) Les effets prix de l'offre foncière, Revue d'Economie Régionale et Urbaine.
- GREC-PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique, note de synthèse coordonnée par J Guiot et B. Seguin, http://www.air-climat.org/wp-content/uploads/2015/05/GREC-PACA_EnjeuxCC_BD_10062015.pdf
- Lopez-Kolkosky, J. and G. Geniaux, (2015) A spatial regression framework for small area population projection with census data, To be submitted.
- Oliosio, A., R. Lecerf, A. Chanzy, F. Ruget, F. Huard, A. Bailleux, P. Rosselo, P. Lecharpentier, F. Trolard, F. Charron, S. Ruy, M. Alkacem Alosman, A.-L. Cognard-Plancq, B. Seguin, D. Courault, B. Gallego-Elvira, and S. Guarrigues (2013), Bilan hydrique des agrosystèmes de Crau face aux changements globaux, in Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne : La plaine de Crau, edited by L. Tatin, A. Wolff, J. Boutin, E. Colliot and T. Dutoit, pp. 266-288, éditions Quae, Versailles

LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION / ACTIONS OF PROMOTION (ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, COMMUNICATION, ...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES / SCIENTIFIC PUBLICATIONS

- Publications scientifiques parues / Published

Ailliot P., Allard, D., Monbet V. and Naveau, P. (2015) Stochastic weather generators: an overview of weather type models. *Journal de la Société Française de Statistiques*, 156(1), 101-103.

Géniaux, G., C. Napoleone, and B. Leroux, (2015) Les effets prix de l'offre foncière, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine.*, 273-320, DOI : 10.3917/reru.151.0273

Garrigues, S., A. Olioso, J.-C. Calvet, E. Martin, S. Lafont, S. Moulin, A. Chanzy, O. Marloie, S. Buis, V. Desfonds, N. Bertrand, and D. Renard (2015), Evaluation of land surface model simulation of evapotranspiration over 12-year crop succession : impact of soil hydraulic and vegetation properties, *Hydrology and Earth System Science*, 19, 3109-3131

Pimont F., Dupuy J.L., Rigolot E., Prat V., Piboule A. 2015. Estimating leaf bulk density distribution in a tree canopy using terrestrial LiDAR and a straightforward calibration procedure. *Remote Sensing*, 7: 7995-8018

- Publications scientifiques à paraître / In press

Carrière S., Chalikakis K., Danquigny C., Davi H., Mazzilli N., Ollivier C., Emblanch C. In press. Role of porous matrix rock in water flow regulation within karst unsaturated zone - an integrated hydro-geo-physical approach. *Hydrogeology Journal*.

Cailleret M., Bigler, Bugmann H., Camarero J., Cufar K., Davi H., Mészáros I., Minunno F., Peltoniemi M., Robert E., Suarez ML., Tognetti R., Vilalta JM. In press. Towards a common methodology for assessing logistic tree mortality models based on ring-width data. *Ecological Applications*.

- Publications scientifiques soumises / Submitted

Allard D. (2015) Editorial to the Special Issue "Stochastic Weather Generators", *Annales de l'ISUP*, 59, (1-2)

Bourotte M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) A Flexible Class of Non-separable Cross-Coavarince Functions for Multivariate Space-Time Data (*submitted to Spatial Statistics*). ArXiv 1510.07840.

Bailleux, A., A. Olioso, F. Trolard, A. Chanzy, R. Lecerf, P. lecharpentier, O. Banton, and F. Ruget (2016), Changements globaux : quels impacts sur l'aquifère de la Crau ?, *Géologues*, soumis.

Davi H., Cailleret (2016) M. Assessing drought-driven mortality with a process-based model. Soumis à Ecological applications.

Debolini M., Geniaux G., Guerif M., (in preparation). Assessment and prospective on modeling agricultural land use changes: a review of existing approaches and future challenges. To be submitted to Agricultural Systems

Diallo A. and G. Geniaux, (2015), Spatial logit for large samples with local spatial lag and regional spatial random effects using linearized GMM: an application to land use models, Submitted to Journal of Regional Science.

OUVRAGES / PUBLICATIONS

- Ouvrages parus / Published

Allard D. (2015, Editor) Special Issue “Stochastic Weather Generators”, Annales de l’ISUP, 59, 148p.

Oliosio, A., R. Lecerf, A. Chanzy, F. Ruget, F. Huard, A. Bailleux, P. Rosselo, P. Lecharpentier, F. Trolard, F. Charron, S. Ruy, M. Alkacem Alosman, A.-L. Cognard-Plancq, B. Seguin, D. Courault, B. Gallego-Elvira, and S. Guarrigues (2013), Bilan hydrique des agrosystèmes de Crau face aux changements globaux, in Ecologie et conservation d’une steppe méditerranéenne : La plaine de Crau, edited by L. Tatin, A. Wolff, J. Boutin, E. Colliot and T. Dutoit, pp. 266-288, éditions Quae, Versailles

COLLOQUES / SEMINARS

- Participations passées à des colloques / Attended conferences

a. *En tant qu’intervenant / as contributor*

Présentations orales / Oral presentations

Bourotte, M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) Estimation by pairwise likelihood for multivariate spatio-temporal Gaussian random fields. *Spatial Statistics Conference*, Avignon 9-12 juin 2015. (+ Résumé)

Bourotte, M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) Estimation by pairwise likelihood for multivariate spatio-temporal Gaussian random fields. *47eme Journées de Statistiques de la SFdS*, Lille 1-5 juin 2015. (+ Résumé long)

Bourotte M., Allard D. and Porcu E. (2014) A New Parametric Class Of Cross-Covariance Functions For Multiivariate Spatio-Temporal Random Fields. *10th International Conference on Geostatistics for the Environment*, Paris, 8--11 juillet 2014 (+ Résumé)

Bourotte M., Allard, D. and Porcu E.: (2014) A stochastic weather generator based on new spatio-temporal cross-covariance functions. Workshop on Stochastic Weather Generators, Avignon, 17 – 19 Septembre 2014. Debolini M. And Guerif M., (2015). Farming system dynamics and their drivers in Mediterranean landscapes: a case study on the Vaucluse department based on agricultural census

- data (PACA Region, France). *5th International Symposium for Farming Systems Design*, 7-10 September 2015, Montpellier, France
- Davi H. 2014. Risques de mortalité et potentialités d'adaptation des forêts aux changements climatiques. Réseau méditerranéen d'écoles pratiques en environnement. Ecole de Printemps / Cycle de séminaires. Dynamique climatique et risques naturels. 23-25 Avril. Barcelonnette.
- Davi H. 2015. Impact des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne. Carrefour de l'Innovation Agronomique, Avignon, Novembre 2015
- Debolini M., Guerif M., Geniaux G., (2014). Assessment and prospective on modelling agricultural system dynamics: existing methods and future challenges. *Land Transformations: Between Global Challenges and Local Realities*. Berlin 19th - 21st March 2014
- Debolini M. And Guerif M., (2015). Farming system dynamics and their drivers in Mediterranean landscapes: a case study on the Vaucluse department based on agricultural census data (PACA Region, France). *5th International Symposium for Farming Systems Design*, 7-10 September 2015, Montpellier, France
- Diallo A. and G. Geniaux. 2012 Spatial multinomial logit model for large samples. *In VI World Conference of the Spatial Econometrics Association - Salvador de Bahia - Brazil*.
- Diallo A. and G. Geniaux. 2012 Spatial panel multinomial logit models for large samples : An application to land use change models. *In International Spatial Econometrics Workshop*, Avignon, 2012.
- Dupuy J.L., Boivin T., Duché Y., Martin-StPaul N., Pimont F., Rigolot E. 2015. Impact du changement climatique sur les risques en forêt : le cas de l'incendie et de ses interactions avec la sécheresse et les pullulations d'insectes. Carrefour de l'Innovation Agronomique, Avignon, Novembre 2015
- Geniaux. G., 2012. The double spatial lag model. *In International Spatial Econometrics Workshop*, Avignon, 2012.
- Geniaux. G. 2012 In search of W for the spatial lag model. *In VI World Conference of the Spatial Econometrics Association - Salvador de Bahia - Brazil*, 2012.
- Geniaux. G., 2012. In search of W for the spatial lag model. *In International Spatial Econometrics Workshop*, Avignon, 2012.
- Geniaux., G., 2012. L'analyse économétrique des effets des politiques zonales. *In Séminaire du Gretha - programme A*, 2012.
- Geniaux, G., 2012. Urbansimul - v1.1 un outil de diagnostic et de simulation sur l'occupation du sol. *In Journée d'étude "mesure de l'étalement urbain" - Maison de la Recherche en Sciences de l'Homme*, Dunkerque, 2012.
- Geniaux., G., 2012. La problématique du foncier dans la recherche française : un panorama orienté économie/agriculture. *In Programme PSDR - Agri -R et D Rhône-Alpes 2020 Quelles questions pour la recherche?*, 2012.

- Geniaux, G. and B. Leroux, 2013. Les déterminants de la rétention foncière. *In Assise nationale du Foncier, La rareté, une légende foncière*, Bordeaux 17-18 octobre, 2013.
- Geniaux, G. and D. Martinetti, 2015. Spatial econometrics model under misspecification: The case of spatially-varying covariates and spatial weight misspecification. *In Spatial Statistics: Emerging Patterns Conference*, Avignon, 2015.
- Geniaux, G. and D. Martinetti, 2015. Spatial econometrics model under misspecification: The case of spatially-varying covariates and spatial weight misspecification. *In 8th Jean Paelinck Seminar of Spatial Econometric*, 2015.
- Geniaux, G., C. Napoleone, and B. Leroux, 2013. The effect of developable land supply on land price. *In Journées INRA-SFER Angers*, 2013.
- Geniaux, G., C. Napoleone, and B. Leroux., 2014 Les effets prix de l'offre foncière. *In Séminaire PUCA, Maîtrise de la croissance urbaine et régulation du foncier : Outils et impacts*, 2014.
- Geniaux, G., C. Napoléone, and R. Vimal. 2012, An ecological-economic framework to project future impacts of urbanization on biodiversity using parcel scale data and endogenous land use (plan) zoning. *In ISEE Conference 2012 - Rio de Janeiro - Brazil*, 2012.
- Lecharpentier, P., 2014, Multisimlib/optimiSTICS : utilisation pour une application de multisimulations spatialisées avec Record dans le projet VIGIE-MED, *Journées Record*, 31-01-2014
- Martinetti M. and G. Geniaux, 2015. Implementation of fast and accurate algorithms for the approximation of mvn probabilities for big sample data: The case of spatial probit. *In Spatial Econometrics and Statistics Workshop*, Paris, 2015.
- Oliosio, A., R. Lecerf, A. Bailleux, A. Chanzy, F. Ruget, O. Banton, P. Lecharpentier, F. Trolard, and A.-L. Cognard-Plancq (2013), Modelling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analysing impact of global change on aquifer recharge, *Procedia Environmental Sciences, Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges*, 19, 691-700.
- Pimont F., Dupuy JL., Piboule A., Rigolot E. 2013. Étude préliminaire de l'utilisation du T-LiDAR pour l'évaluation du combustible en forêt. Atelier T-LiDAR pour la communauté francophone, utilisation du système LiDAR terrestre en écologie forestière. Université de Marseille, Luminy, 8 octobre 2013
- Pimont F., Dupuy J-L., Piboule A., Prat V., Rigolot E. 2014. Étude préliminaire de l'utilisation du T-LiDAR pour l'évaluation du combustible en forêt. Atelier T-Lidar pour la communauté francophone "Utilisation du système LiDAR terrestre en écologie forestière", 18 et 19 novembre 2014, Nancy
- Pimont F., Dupuy J-L., Rigolot E., Prat V., Piboule A. 2015. Estimating leaf bulk density distribution in a tree canopy using terrestrial LiDAR and a straightforward calibration procedure. 14th conference on Lidar Applications for Assessing and Managing Forest Ecosystems (Silvilaser 2015), La Grande Motte, France, 28-30 Sept. 2015, 4p. Debolini M., and Guerif M., (2014). Integrating heterogeneous data sources for building farming system typology and assessing farm system dynamics. A case

study on the Vaucluse Department (PACA Region, France). *Advances in Spatial Typologies: how to move from concepts to practice? IALE-Europe Thematic Workshop 2014*, July 4-5, 2014, Lisbon

Posters

Cailleret M., Bigler C., Bugmann H., Davi H., Minunno F., Peltoniemi M., Martínez-Vilalta J. 2015. Towards a common methodology to assess tree -ring based growth-mortality relationships. Poster at EGU session.

Debolini M., Lejeail P., Guerif M., (2014). Building typologies of farming systems to understand agricultural landscape dynamics at regional level. Land Transformations: Between Global Challenges and Local Realities. Berlin 19th - 21st March 2014

Martinetti, D. and G. Geniaux, 2015. Implementation of fast and accurate algorithms for the approximation of MVN probabilities for big sample data. In *Spatial Statistics: Emerging Patterns Conference*, 2015.

Martinetti and G. Geniaux, 2015. Implementation of fast and accurate algorithms for the approximation of mvn probabilities for big sample data: The case of spatial probit. In *26th EC2 conference : Theory and Practice od Spatial Econometrics*, Edinburgh, 2015.

THESES / THESIS

- Thèses en cours / Ongoing PhDs

Bourotte M. Modèles et algorithmes pour un générateur de temps spatialisé (SWgen) prenant en compte les valeurs extrêmes. Co-direction, D. Allard (BioSP, INRA Avignon) et Liliane Bel (UMR MIA/AgroParisTech, Paris) Soutenance prévue en Février 2016.

MODELES – LOGICIELS / MODELS – SOFTWARES

- Outils développés / Developed tools

Implémentation de WACS Gen dans RECORD

Implémentation de la multisimulation dans RECORD

- Outils en cours de développement / Tools under construction

ACTIONS DE VULGARISATION - TRANSFERT / ARTICLES OF VULGARIZATION - TRANSFER

- Articles de valorisation parus / Published

Allard, D. (2014). Des modèles stochastiques pour simuler le temps. In: Martin Andler, Liliane Bel, Sylvie Benzoni, Thierry Goudon, Cyril Imbert, Antoine Rousseau, Brèves de Maths. Paris, France : Nouveau Monde Éditions.

Davi H. 2015. Impact des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne. Innovations Agronomiques, 48.

Dupuy J.L., Boivin T., Duché Y., Martin-StPaul N., Pimont F., Rigolot E. 2015. Impact du changement climatique sur les risques en forêt : le cas de l'incendie et de ses interactions avec la sécheresse et les pullulations d'insectes. Innovations Agronomiques, 48.

Lefèvre F., Fady B., Jean F., Davi H., Pichot C., Oddou-Muratorio S. 2015. Les processus biologiques de réponse des arbres et forêts au changement climatique : adaptation et plasticité phénotypique. Innovations Agronomiques, 48.

GREC-PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique, note de synthèse coordonnée par J Guiot et B. Seguin, http://www.air-climat.org/wp-content/uploads/2015/05/GREC-PACA_EnjeuxCC_BD_10062015.pdf

- Activités de transfert (séminaires, sessions de formation, ...) / Transfer activities (workshops, training, ...)

Allard, D. (2015) Ecole Chercheur « Statistical and mathematical tools for the study of climate extremes », Cargèse, 9 – 13 Novembre 2015. Session de cours + TD basés sur le package WACS 1.0

G. Geniaux. Exploitation des données dvf 2007-2015. In Club régional des Opérateurs Fonciers, 2015.

G. Geniaux. Urbansimul 1 un outil de d'analyse et de prospective sur le foncier. In 8ème assises régionale du Foncier, CR PACA - 20 décembre, 2012.

G. Geniaux. Urbansimul v2 : Un outil au service de l'analyse de la disponibilité foncière et de la simulation prospective de l'urbanisation. In SCoT et Consommation de l'espace - DREAL PACA, 2012.

G. Geniaux and B. Leroux. Urbansimul : Un outil serveur d'analyse et de prospective sur le foncier en région paca. In Journée technique COTITA, CEREMA, 2015.

AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS / OTHER ACTIONS TOWARDS MEDIA

- Actions vers les médias (interviews...) effectuées / Concluded actions

Hendrik Davi, Nicolas Martin, Nicolas Mariotte, Arnaud Jouineau. 1er décembre 2015. Journal Télévisé de 13h00 France 2 : Dépérissement des Forêts. Durée 3'. http://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/13-heures/jt-de-13h-du-mardi-1-decembre-2015_1190229.html (à 12'53")

André Chanzy, Invité du Journal télévisé de 13h00 de France 3 Côte d'azur le 10/12/2016. <https://intranet6.paca.inra.fr/Vie-du-centre/Vents-du-Sud/Numeros-precedents/Vents-du-Sud/2015/20-Special-COP21/PRESSE-ET-MEDIAS/Jeu-di-3-decembre-France-3-Cote-d-Azur-JT-12-13-sur-la-COP21-avec-Andre-Chanzy>

- Actions vers les médias en cours / Ongoing actions

RESUME

TITRE DU PROJET

VIGIE-MED

Impact des changements climatiques à l'échelle régionale et adaptation par la distribution spatiale des ressources hydriques et des systèmes de production végétal

RESUME COURT

Vigie-MED vise à évaluer des stratégies d'adaptation aux changements climatiques par la localisation des systèmes de production et l'allocation des ressources hydriques au niveau d'un territoire de dimension régionale. Des outils sont développés pour scénariser les changements (simulateur spatiotemporel de climat, modèle de changement d'usage des sols en fonction des contextes socio-économiques et des stratégies d'adaptation aux changements globaux). L'évaluation des options d'adaptation s'appuie sur des indicateurs pour caractériser les capacités de production végétale, les ressources hydriques et les risques tels que les incendies de forêt.

RESUME LONG

Certains des impacts du changement climatique sur les systèmes de production végétale concernent des territoires de dimension importante (aquifère, bassin versant, massif forestier) et l'échelon régional, au sens administratif du terme, est un niveau important pour prendre des décisions sur l'adaptation aux changements climatiques. Pour venir en appui des autorités locales et des professions agricole et forestière, nous proposons des indicateurs de durabilité territoriale permettant d'apprécier les capacités de production végétale, les ressources hydriques, les risques d'incendie ou encore l'adaptabilité des territoires aux enjeux futurs relatifs aux besoins et conditions de production. Dans VIGIE-MED, l'adaptation est vue à travers l'allocation spatiale des systèmes de production végétale qui doit prendre en compte de manière explicite la répartition des sols, des ressources hydriques et des potentialités agro-pédoclimatiques. Afin d'appréhender l'impact des mesures d'adaptation, il est important de comprendre les dynamiques territoriales induites par celles-ci en tenant compte d'autres facteurs tels que processus micro-économiques ou les forçages macro-économiques.

Le schéma conceptuel de l'approche dans Vigie-Med est de considérer des options d'aménagement du territoire (infrastructure hydraulique, zonage, développement d'une filière) et d'en étudier les conséquences sur l'occupation des sols tout en prenant en compte les dynamiques propres au territoire et celles induites par des forçages externes. La carte d'occupation du sol ainsi obtenue est ensuite mobilisée dans des modèles biophysiques et hydrologiques pour calculer des indicateurs sur la production végétale, la survie des arbres, le risque incendie ou encore l'état des ressources en eau souterraines. Les modèles étant paramétrés par le climat, il est possible de faire des projections avec des scénarios climatiques et évaluer les conséquences dans le futur d'une option d'aménagement. Ce projet ambitieux devait s'appuyer sur un projet de plus grande ampleur (soumis à l'ANR) qui malheureusement n'a pas été retenu. De ce fait, le projet a permis de progresser sur la mise en place de

certaines briques du dispositif envisagé sans avoir pu mettre l'ensemble de la démarche en œuvre. Ainsi les objectifs plus précis ont été les suivants :

- Calcul des différents indicateurs à l'échelle régionale sur la production végétale (agricole et forestière), le risque incendie et les ressources hydriques.
- Modélisation des changements d'usage des sols et des systèmes de production agricole en fonction des déterminants micro-économiques, sociaux, politiques, géographiques et les potentialités agricoles et leur évolution dans un cadre de changement climatique.
- Pour mieux appréhender la variabilité climatique, nous avons développé un outil de simulation capable de générer des séries de variables météorologiques multivariées et multi-sites, avec une reproduction adéquate des événements extrêmes.

Ce travail s'est appuyé sur le contexte méditerranéen considéré comme un hot spot de changement. La zone d'étude couvre les départements du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône en se focalisant sur des sous-entités (Vaucluse, Ventoux, plaine de la Crau) selon les travaux. Une tâche importante du projet a été d'alimenter le système d'information spatiale hébergée par la plateforme GeOpen4S du centre INRA PACA. Les principaux résultats sont donnés ci-dessous.

Vers un simulateur de climat multivarié et tenant compte des dépendances spatiales. Nous avons construit une nouvelle classe, valide, non séparable et flexible, de fonctions de covariance spatio-temporelles et multivariées. Ce résultat de nature mathématique est nouveau et à la pointe de la recherche actuelle dans le domaine des méthodes statistiques multivariées. Une méthode d'estimation, basée sur la vraisemblance composite par paire, a été testée avec succès. Cela ouvre la possibilité de produire des séries spatio temporelles de données climatiques reproduisant la variabilité temporelle et l'occurrence des événements extrêmes tout en respectant la cohérence spatiale.

Modélisation des usages des surfaces pour la représentation des dynamiques territoriales. L'enjeu scientifique était de représenter l'ensemble des changements affectant nos territoires d'études à savoir l'urbanisation, la déprise agricole et l'évolution des systèmes de production. La démarche étant statistique, la base de données parcellaire sur le Vaucluse a été considérablement enrichie en rassemblant des informations d'origines diverses. Nous disposons ainsi d'une base pour mieux suivre les évolutions du parcellaire et les facteurs qui jouent sur les changements d'occupation des sols. A l'échelle de l'exploitation agricole, nous avons pu identifier les trajectoires principales lors de la dernière décennie avec une spécialisation sur les cultures à forte valeur ajoutée, une intensification des systèmes de production ou une extensification, lorsque qu'il y a des enjeux touristiques. A l'échelle parcellaire, des progrès sur les estimateurs statistiques binomiaux (simulant un choix entre deux options comme l'urbanisation ou le maintien de l'agriculture) nous permettent d'envisager d'aborder les choix multinomiaux nécessaires pour représenter les changements de système de production. Le modèle URBANSIMUL, simulant l'urbanisation a été adopté par la région et un important développement est cours pour en faire un outil opérationnel pour les collectivités territoriales. L'enjeu est maintenant d'appréhender le poids des facteurs pédoclimatiques dans les changements et d'évaluer la pertinence des simulations lorsque qu'une option d'adaptation est apportée dans le champ des contraintes.

Le devenir de l'aquifère de la Crau dépendra principalement des arbitrages sur la dotation en eau pour l'irrigation. L'enjeu scientifique et méthodologique était de paramétrer à l'échelle du territoire le

modèle de culture STICS en tenant compte de la variabilité spatiale du climat, des sols et des pratiques agricoles. Une chaîne de modélisation a été réalisée (Regional STICS/MODFLOW), incluant un couplage avec un modèle de nappe, a été mise en œuvre et évaluée sur des données historiques. Les simulations montrent à l'horizon 2050 une augmentation des besoins en eau d'environ 3 à 12% selon les cultures, mais qui sont en partie compensées au niveau du bilan de la zone par la diminution simulée des surfaces agricoles. Par contre une diminution de 30% de la dotation en eau aura un impact majeur sur la nappe.

Le hêtre et le sapin menacés sur le Ventoux. Le paramétrage du modèle CASTANEA a été réalisé sur les principales essences forestières et un module de mortalité a été ajouté et validé dans le cas du sapin. Les simulations réalisées selon le scénario climatique A1B, avec une augmentation de 3.7°C entre la période actuelle et après 2080, donnent une augmentation du stress hydrique (25%) et une forte baisse de la croissance (35% pour le Hêtre et de 43% pour le Sapin). Mais avant 2080, des seuils létaux (réserves négatives) sont franchis. Le Sapin disparaîtrait totalement d'ici 2030 et le Hêtre d'ici 2050.

Un aléa incendie fort qui pourrait s'étendre aux zones d'altitude plus élevée. La puissance locale du feu caractérise une composante de l'aléa de feu de forêt. Les formations forestières de la zone d'étude présentent une intensité de feux de forêt classée fort à très fort, sauf pour les milieux naturels situés en altitude. Avec le changement climatique, on anticipe une remontée en altitude des espèces plus thermophiles qui pourrait conduire, à dire d'experts, à un aléa plus fort aux altitudes moyennes ou élevées. L'enjeu scientifique est maintenant de pouvoir établir le lien entre les états des peuplements forestiers simulés par les modèles écophysiologiques et l'aléa feux de forêt.

MOTS-CLÉS :

Forêt, systèmes de culture, ressource hydriques, incendie, usage des sols, modélisation, services écosystémiques, production végétale, modèles; simulateur de climat; indicateurs, économie ; analyse rétrospective ; milieu méditerranéen

FAITS MARQUANTS**TITRE**

Une classe non séparable et flexible de fonctions de covariance spatio-temporelle multivariée

CATEGORIE

Un résultat mathématique et une avancée scientifique

RESUME

Nous avons défini une nouvelle classe, valide non séparable et flexible, de fonctions de covariance spatio-temporelles et multivariées. Une méthode d'estimation nouvelle, basée sur la vraisemblance composite par paire, a été testée avec succès. Sur des séries de simulation et sur deux jeux de données différents, on a pu montrer que ce nouveau modèle améliorerait tous les critères de performance en termes de prédiction et de simulation.

CONTEXTE ET ENJEUX

Pour l'analyse de données spatio-temporelles multivariées, il est nécessaire de disposer de modèles de champs aléatoires compatibles avec les données observées. Il est aisé de construire des fonctions de covariance pour de tels champs par addition ou multiplication de fonctions de covariance plus simples, mais les modèles obtenus de cette façon ne permettent pas de rendre compte de la complexité des interactions entre espace, temps et variables. Disposer de modèles de covariance à la fois flexibles et suffisamment riches pour capturer des interactions complexes est un enjeu important en statistiques pour les données spatio-temporelles.

RESULTATS

Nous avons défini une nouvelle classe, non séparable et flexible, de fonctions de covariance spatio-temporelles et multivariées, dont nous avons établi la validité mathématique. Ce résultat, de nature théorique, est nouveau et à la pointe de la recherche actuelle dans le domaine des méthodes statistiques multivariées. Il ouvre de nouvelles voies de modélisation dans tous les domaines d'application des statistiques pour les données spatio-temporelles.

VALORISATION

Bourotte M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) A Flexible Class of Non-separable Cross-Covariance Functions for Multivariate Space-Time Data (submitted to Spatial Statistics). ArXiv 1510.07840.

MOTS-CLES

Vraisemblance composite, covariance de Matern ; champs aléatoires multivariés ; séparabilité ; processus spatio-temporels ; géostatistique spatio-temporelle

TITRE

Développement de modules spécifiques dans RECORD

CATEGORIE

Innovations techniques.

RESUME

Pour faire face à la multi-simulation dans un contexte régional et de changement climatique, des modules génériques ont été développés. Les innovations ont porté sur une procédure de simulations multiples pour représenter les unités de simulation d'un territoire, sur le couplage du modèle STICS avec un modèle de décision pour prendre en compte de manière souple et ouverte l'évolution des systèmes de culture et sur l'implémentation du simulateur de climat WACS-GEN.

CONTEXTE ET ENJEUX

La simulation régionale suppose de pouvoir gérer un grand nombre de cas de simulation pour représenter la variabilité spatiale et simuler de longues périodes. Un utilitaire développé sous MATLAB, MultiSimLib, fonctionnait avec la version STICS hors RECORD et il a été adapté afin d'utiliser directement un modèle de la plateforme RECORD. Parallèlement, la représentation du futur suppose de pouvoir appréhender les incertitudes. Le nombre de projections climatiques n'étant pas toujours suffisant, il peut être nécessaire de générer des séries climatiques de manière stochastique afin d'appréhender les incertitudes sur un échantillon statistique de taille adaptée. Enfin, l'évolution du climat a des impacts sur les itinéraires techniques. Il faut donc introduire de nouvelles règles de décision. Afin de ne pas modifier les modèles de culture, un module de décision a été créé et adossé à STICS afin de pouvoir gérer de manière souple et évolutive les itinéraires techniques dans les simulations futures.

RESULTATS

Les développements ont permis de produire les composants suivants :

- développement d'une bibliothèque MATLAB/VLE pour gérer des simulations depuis l'environnement MATLAB,
- fonctionnalité de visualisation de données de simulation, spatialement explicites intégrée à l'interface graphique de RECORD
- mise à disposition du générateur de série climatique WACS-gen avec une partie « estimation » permettant d'analyser une série passée et estimer les statistiques du générateur et une partie « simulation » pour générer les séries,
- modèle couplé STICS/Décision afin de représenter dans un modèle externe les itinéraires techniques utilisés par le modèle STICS en tenant compte de l'état du milieu simulé,
- adaptation de la chaîne de multisimulation « MultisimLib ».

PERSPECTIVES

Amélioration des performances de calcul du modèle couplé STICS/décision. Implémentation à terme du simulateur spatial de climat.

MOTS-CLES

RECORD, STICS, simulation, générateur de climat, décision, changement climatique

TITRE

Urbansimul

CATEGORIE

Un partenariat exemplaire

RESUME

Les travaux menés dans le cadre de VIGIE-MED ont permis de maintenir un effort de recherche sur la modélisation de l'occupation du sol ces dernières années qui a largement contribué à alimenter le projet Urbansimul. Ce projet vise à fournir un outil de diagnostic et de simulation de scénario sur l'urbanisation en PACA à destination de tous les acteurs publics en charge des questions de planification urbaine et de production de logements, en particulier les services déconcentrés de l'Etat et les collectivités territoriales. Cet outil intègre et analyse chaque année plus de 40 millions de lignes d'enregistrement provenant d'une centralisation des données spatiales sur les cadastres, la propriété et sa régulation publique (zonages urbanisme / environnement/ risque) dans le cadre d'une convention entre 6 partenaires publics en PACA (INRA, Région, DREAL, le Centre Régional de l'Information Géographique, l'Etablissement Public Foncier et le CEREMA sud-est qui est co-développeur).

CONTEXTE ET ENJEUX

Urbansimul permet de mettre à disposition des acteurs publics en charge des questions d'urbanisme et d'aménagement de l'espace (avec à terme un potentiel de plus 1500 utilisateurs) des données spatiales prétraitées, des rapports de diagnostic et des simulations utilisables pour la mise en œuvre quotidienne de leur politique. Tous ces documents sont mis à disposition gratuitement aux utilisateurs d'Urbansimul, qui en retour participent à la vérification et la mise à jour en continu de la donnée ; de leur côté, les chercheurs de l'INRA bénéficient de cette démarche de crowdsourcing dans leurs travaux de modélisation prospective de l'occupation du sol.

PERSPECTIVES ET VALORISATION

Ce partenariat vient d'être renforcé en 2015 avec l'inscription de ce projet dans le nouveau contrat de plan Etat-région et un financement de plus de 600 000 euros (Etat-Région-EPF) sur trois ans permettant à l'unité INRA ecodeveloppement de recruter 3 ingénieurs contractuels pendant 3 ans, de renouveler les serveurs et de bénéficier de la prise en charge de leurs coûts de maintenance en haute disponibilité.

MOTS-CLES

Gisement foncier, planification urbaine, simulation de l'extension urbaine

TITRE

Workshop « Stochastic Weather Generators », Avignon 17 – 19 septembre 2014

CATEGORIE

un événement remarquable : colloque

RESUME

Ce colloque a réuni la communauté internationale des chercheurs, praticiens et utilisateurs des générateurs stochastiques de conditions météorologiques. Il fait suite à un premier colloque, organisé du 29 mai au 1er juin 2011 à Roscoff.

CONTEXTE ET ENJEUX

Un des objectifs du colloque était de consolider une communauté internationale dispersée. Pour ce faire, une partie significative du budget a servi à inviter des orateurs des pays anglo-saxons en pointe dans le domaine : Etats-Unis, Nouvelle-Zélande, Grande-Bretagne. Toujours dans le but de favoriser la création d'une communauté, l'objectif était de maintenir des frais d'inscription assez faibles.

RESULTATS

Le colloque a réuni 50 personnes et il y eu 27 présentations orales. Elles peuvent être téléchargées sur le site du colloque : <http://informatique-mia.inra.fr/swg2014>. Un numéro spécial des Annales de l'ISUP (Allard, 2015) a publié une sélection d'articles issus de ce colloque.

PERSPECTIVES

A la suite des éditions de 2011 à Roscoff et 2014 à Avignon, un troisième colloque sera organisé à Vannes en mai 2016.

VALORISATION

Allard D. (2015, Editor) Special Issue "Stochastic Weather Generators", Annales de l'ISUP, 59, 148p.

EVALUATION

QUELLE A ETE LA CONTRIBUTION DU METAPROGRAMME ACCAF ?

- Quelles opportunités vous a apportées le métaprogramme ?

Le méta programme a permis d'animer un collectif au niveau du pole Adaptation aux Changements Globaux du centre INRA-PACA. Si les soumissions à l'ANR ont échouées, le projet a permis d'avancer sur quelques éléments essentiels de la démarche VIGIE-MED et garder un regard croisé entre changement d'usage et impact bioclimatique. Par ailleurs le programme a permis de maintenir une activité minimale sur des sujets qui sont maintenant financés par des programmes plus vastes (générateur climatique, modèles de changement d'usage, risque incendie).

- Avez-vous engagé des actions qui n'auraient pas pu avoir lieu sans le métaprogramme ? Si oui, lesquelles ?

Les travaux sur l'évolution des systèmes de culture, le développement du simulateur spatialisé de climat et les travaux sur l'aléa incendie ont été possibles grâce au métaprogramme.

- Vos attentes scientifiques par rapport au métaprogramme ont-elles été satisfaites ? Pourquoi ?
- Selon vous, le métaprogramme atteint-il ses objectifs en termes de multidisciplinarité ?

Oui, en tous les cas au niveau de VIGIE-MED

- Et en termes d'effet levier ?

Des projets ont essaimés et des actions de valorisation ont permis de donner de l'ampleur à certaines actions (transmettre).

- Voyez-vous des limites à l'action du métaprogramme ?

Coût de transaction élevé. Le financement peu motivant pour certains partenaires n'a pas permis de les impliquer à un niveau suffisant.

- Avez-vous des propositions concrètes pour améliorer l'animation du métaprogramme ?
- Seriez-vous prêt à porter une animation dans le cadre du métaprogramme ?

Certains membres du projet probablement.

Annexes : textes des publications

File name	reference
2015_Pimont_et al_LiDAR_remotesensing-07-07995 2015_Pimont_et al_LiDAR_remotesensing-07-07995-s001(1)	Pimont F., Dupuy J.L., Rigolot E., Prat V., Piboule A. 2015. Estimating leaf bulk density distribution in a tree canopy using terrestrial LiDAR and a straightforward calibration procedure. <i>Remote Sensing</i> , 7: 7995-8018
Ailliot_Allard_Monbet_Naveau_2015_JSFD5	Ailliot P., Allard, D., Monbet V. and Naveau, P. (2015) Stochastic weather generators: an overview of weather type models. <i>Journal de la Société Française de Statistiques</i> , 156(1), 101-103.
Allard_Editorial_ISUP_SWG2014.r	Allard D. (2015) Editorial to the Special Issue “Stochastic Weather Generators”, <i>Annales de l’ISUP</i> , 59, (1-2)
Bourrotte&al_2015_submitted	Bourrotte M., Allard, D. and Porcu, E. (2015) A Flexible Class of Non-separable Cross-Coariance Functions for Multivariate Space-Time Data (<i>submitted to Spatial Statistics</i>). ArXiv 1510.07840
Debolini&Guerif_2015_FSD5	Debolini M. And Guerif M., (2015). Farming system dynamics and their drivers in Mediterranean landscapes: a case study on the Vaucluse department based on agricultural census data (PACA Region, France). 5th International Symposium for Farming Systems Design, 7-10 September 2015, Montpellier, France
Dialo&Geniaux_2015_submitted	Diallo A. and G. Geniaux, (2015), Spatial logit for large samples with local spatial lag and regional spatial random effects using linearized GMM: an application to land use models, Submitted to <i>Journal of Regional Science</i> .
Géniaux&al_2015_Revued'économieRégionaleeturbaine	Géniaux, G., C. Napoleone, and B. Leroux, (2015) Les effets prix de l'offre foncière, <i>Revue d'Economie Régionale et Urbaine.</i> , 273-320, DOI : 10.3917/reru.151.0273
GREC-PACA-publication-complete-20.05.2015	GREC-PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique, note de synthèse coordonnée par J Guiot et B. Seguin, http://www.air-climat.org/wp-content/uploads/2015/05/GREC-PACA_EnjeuxCC_BD_10062015.pdf
Oliosio&al_2013_ouvrage_CRAU	Oliosio, A. et al. (2013), Bilan hydrique des agrosystèmes de Crau face aux changements globaux, in <i>Ecologie et</i>

VIGIE-MED

	<p>conservation d'une steppe méditerranéenne : La plaine de Crau, edited by L. Tatin, A. Wolff, J. Boutin, E. Colliot and T. Dutoit, pp. 266-288, editions Quae, Versailles</p>
<p>OLIOSOetal_2013_procediaenvironmental sciences</p>	<p>Oliosio, A., R. Lecerf, A. Bailleux, A. Chanzy, F. Ruget, O. Banton, P. Lecharpentier, F. Trolard, and A.-L. Cognard-Plancq (2013), Modelling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analysing impact of global change on aquifer recharge, <i>Procedia Environmental Sciences</i>, 19, 691-700.</p>