A-HMCI-1 Mégha Tropiques Ground Validation: le Super site de Ouagadougou

Cazenave et al., 2014 (en cours); Gosset et al., 2013

Le super site de Ouagadougou au Burkina Faso, dont la coordination est assurée par le LTHE et le financement par le CNES, est dédié à la validation au sol des produits issus du satellite Mégha Tropiques (http://megha-tropiques.ipsl.polytechnique.fr). Ses objectifs sont de fournir des estimations quantitatives des précipitations pour la validation des produits de cumuls journaliers L2 de BRAIN (Viltard et al. 2006) et d'apporter des informations statistiques sur les différents hydrométéores en phase solide qui composent les traines stratiformes des systèmes précipitants sahéliens. En partenariat avec la Direction Générale de la Météorologie et Université de Ouagadougou, le site est instrumenté depuis mars 2012, avec le radar polarimétrique Xport du LTHE et un réseau de 17 pluviographes.

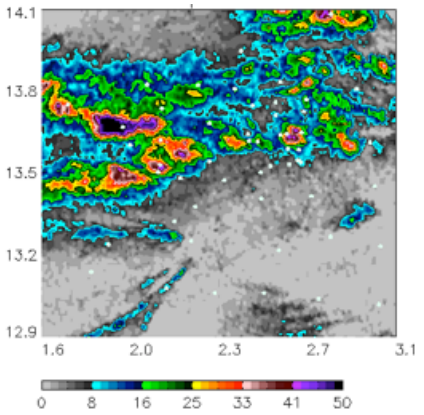


Figure 1 : Cumul événementiel réalisé à partir des mesures radar

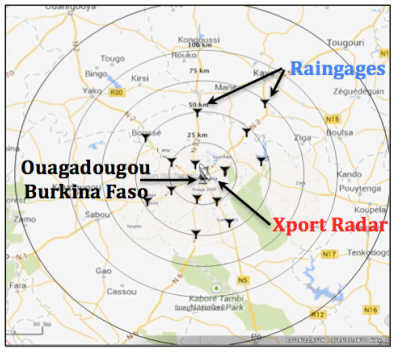


Figure 2 : Carte du Super site de Ouagadougou.

Les caractéristiques polarimétriques des mesures radar permettent à l'aide d'un algorithme à base de logique floue (HID) de discriminer le type dominant de particules qui composent un volume radar. Lors de la pré-campagne de validation Mégha Tropiques au Niger, en aout 2010, des vols instrumentés ont permis de constituer des catalogues d'images de particules saisies le long de la trajectoire de l'avion. Les résultats obtenus à partir de HID sont comparés aux catalogues, permettant ainsi de valider la discrimination. Les informations statistiques en terme de taille, densité et nombre de particules, sont essentielles pour améliorer le processus d'inversion mis en œuvre dans BRAIN sur des régions où les caractéristiques microphysiques des structures précipitantes sont faiblement documentées

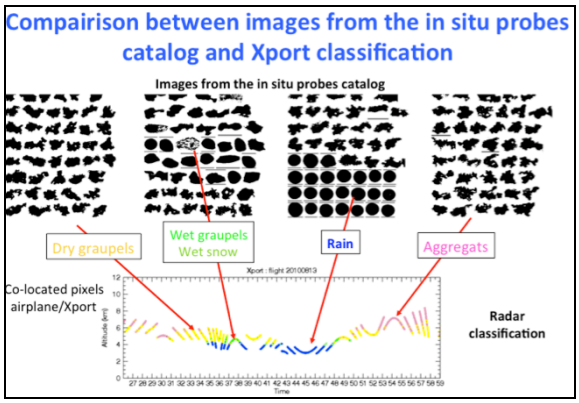


Figure 3: Comparaison des catalogues microphysiques avec les identifications de particules radar/HID

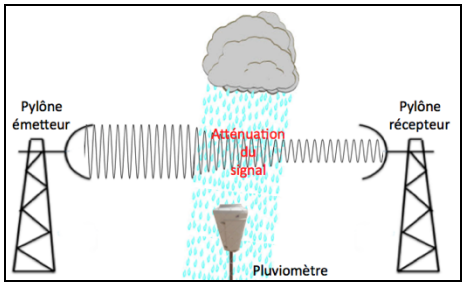


Figure 4 : Illustration de l'atténuation des liaisons hertziennes par les précipitations

Nous étudions la pertinence de l'utilisation des liaisons hertziennes commerciales pour l'estimation des précipitations en Afrique sub-saharienne. Ce travail, réalisé en collaboration avec le GET et l'Université de Ouagadougou, doit permettre de combler un déficit de mesures là où les données sont rares et coûteuses. A travers le réseau **Rain Cell Africa** nous visons à promouvoir et à généraliser l'estimation des précipitations en Afrique à l'aide des réseaux commerciaux de télécommunication .

A-HMCI-2 Contribution aux observations pluviométriques multi-échelles dans le cadre du projet HyMeX

Molinié et al. (HyMeX, 2009) ; Anquetin et al. (HyMeX, 2009) ; Ducrocq et al. (BAMS, 2013)

Le LTHE participe au projet international HyMeX (Hydrological Cycle in the Mediterranean Experiment) dédié à l'étude du cycle de l'eau sur les bassins méditerranéens. La période d'observations spéciales (SOP) s'est tenue au cours de l'automne 2012. Les périodes d'observation étendue (EOP) et longue (LOP) se poursuivent respectivement jusqu'en 2014 et 2020. Les dispositifs maintenus par le LTHE visent à renforcer l'observation des pluies intenses, des crues éclairs et des réponses sociales à ces phénomènes sur les régions couvertes par l'Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes Vivarais (OHMCV). Ils reposaient sur du matériel mis à disposition par les équipes de recherche de l'OHMCV, en particulier le CNRM, le LA et le LaMP, mais également par d'autres équipes internationales (EPFL, Université de Wageningen, NOAA) que l'OHMCV a accompagné sur les sites.
Le dispositif expérimental, présenté sur Fig.1 et Fig.2, permet l'étude de la structure 3D de la pluie, sur une large gamme d'échelles spatiales (du mètre à la centaine de kilomètre), temporelles (de la minute à la durée de l'évènement), en couvrant une région méditerranéenne où le relief est complexe (Fig.3).

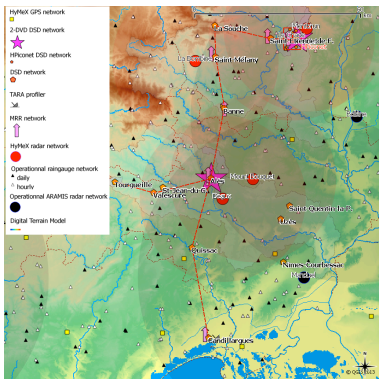


Figure 1: Région Cévennes – Vivarais

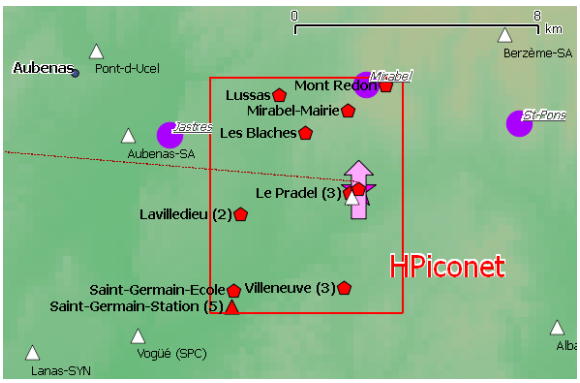


Figure 2: HPicoNet et réseau DSD

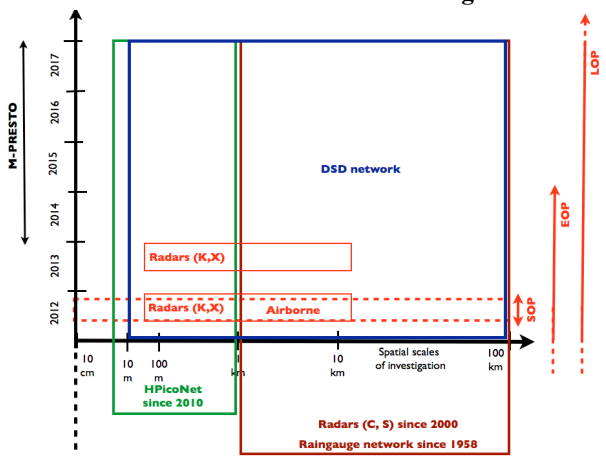


Figure 3 : Représentation du réseau d'observation dans un diagramme espace-temps. L'échelle des abscisse n'est pas régulière par souci de présentation.

Les dispositifs expérimental, mis en place, maintenus et coordonnés par le LTHE (Fig.1) concernent le réseau de capteurs mesurant à différentes échelles spatiales les **propriétés des précipitations au sol** (pluviomètres, disdromètres, anneaux d'induction) et **dans les premières couches de l'atmosphère** (Micro Rain Radar) à la fois le long de transects altitudinaux et sous forme d'un réseau dense. Les transects altitudinaux permettront de documenter la signature orographique sur la structure 3D des précipitations. Le réseau dense « **H-Piconet** » (Fig.2) comprend 9 points instrumentés chacun d'un à cinq capteurs (pluviomètre(s), disdromètre(s), station météorologique). Il a pour objectif d'observer la variabilité de la pluie dans le temps et dans l'espace des échelles métriques à celle des réseaux opérationnels. La région choisie est située dans une zone de fort gradient d'extrema pluviométriques en Ardèche.
Le LTHE a participé aux activités des comités exécutifs nationaux et internationaux, au centre d'opération de la SOP basé près de Montpellier, a participé et continuera à assurer 1/ l'alimentation des bases de données OHMCV et HyMeX ; 2/ des mesures des précipitations par radar météorologique en Ardèche et dans le Gard (équipe HMCI, durant l'EOP et le projet ANR FloodScale); 3/ des retours d'expériences hydrologiques et sociaux là où des évènements significatifs se seront produits sur le bassin méditerranéen (durant la LOP) ; 4/ de l'animation scientifique sur les thèmes « Pluie » et « Crues rapides ».

A-HMCI-3 Le diagramme de sévérité. Comment diagnostiquer l'efficience des modèles atmosphériques dans leur capacité à reproduire les valeurs extrêmes de précipitation.

Ceresetti et al. (2011); Ceresetti (Thèse 2011)

L'évaluation des précipitations simulées par les modèles numériques demeure une étape délicate, fortement contrainte par les objectifs visés et le réseau d'observations sur lequel s'appuie cette évaluation. On s'intéresse ici à l'étude de la variabilité spatiale et temporelle des pluies extrêmes pour l'analyse des risques hydrométéorologiques associés.
L'approche d'évaluation multi-échelles développée par Ceresetti et al. (2011) diagnostique la performance des modèles à reproduire les échelles spatiale et temporelle des pluies extrêmes.
Le diagramme de sévérité a été initialement proposé par Ramos et al. (2005) afin de quantifier la dangerosité des orages méditerranéens observés au-dessus de la ville de Marseille. Ce diagramme représente la fréquence d'occurrence des pluies extrêmes en fonction des échelles spatiales et temporelles. Il permet d'identifier les échelles de temps (cumul temporel des pluies) et d'espace (intégration spatiale des pluies) qui présentent le maximum de « danger » (temps de retour des pluies maximales).
L'élaboration du diagramme de sévérité s'appuie sur 3 étapes schématisées sur la Fig.1.

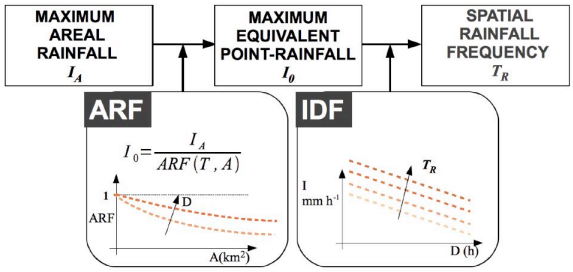


Figure 1: Etape pour l'élaboration du diagramme de sévérité

Etape 1. Les modèles atmosphériques produisent des valeurs d'intensité de pluie ponctuelles cumulées sur une heure typiquement. Par une opération de moyenne glissante à la fois dans le temps (D) et dans l'espaces (A), ces intensités sont converties en intensité surfacique $I_A(A,D)$.
Etape 2. Il s'agit ici d'évaluer l'intensité pluviométrique maximale ponctuelle $I_O(0,D)$ équivalente à $I_A(A,D)$. Pour cela, on utilise un coefficient de réduction surfacique (ARF).
Etape 3. On détermine les temps de retour T_R des intensités maximales ponctuelles équivalentes $I_O(0,D)$ et donc des intensités surfaciques $I_A(A,D)$. Cette étape met en oeuvre une formulation des relations Intensité-Durée-Fréquence (IDF) basée sur la conservation des propriétés des moments des pluies extrêmes par changement d'échelle temporelle (Ceresetti et al., 2012)

L'illustration de ces trois étapes est proposée ci-dessous pour l'évaluation de la simulation de l'épisode Cévenol du 3 décembre 2003 réalisée par Yan et al. (2009).

Avec les processus de moyenne, les intensités maximales diminuent de façon continue avec l'intégration spatiale et temporelle. La comparaison entre les diagrammes basées sur les champs observés (haut) et simulés (bas) montre :
i) les intensités maximales simulées sont significativement sous estimées quelque soit les échelles de temps et d'espace ;
ii) les intensités maximales observées présentent un plateau de l'ordre de 2 à 4 heures pour des surfaces d'intégrations élevées, puis ensuite diminuent avec l'intégration temporelle.
Ce résultat indique que cet événement présente des fortes intensités pour des cumuls de 6h et sur des surfaces de l'ordre de 500km^2. Les intensités maximales observées ne présentent pas de telle structure et les évolutions sont décroissantes avec l'accumulation temporelle et spatiale.
Les diagrammes de sévérités (Fig.2b) montrent une certaine ressemblance. Le maximum de sévérité est observé pour un cumul autour de 4h et pour des surfaces de l'ordre de 20 km2. Les précipitations simulées étant significativement sous-estimées (Yan et al., 2009), les temps de retour sont eux aussi sous-estimés. Néanmoins, la simulation n'a pas reproduit le deuxième pic de sévérité présent pour des cumuls de 8h.

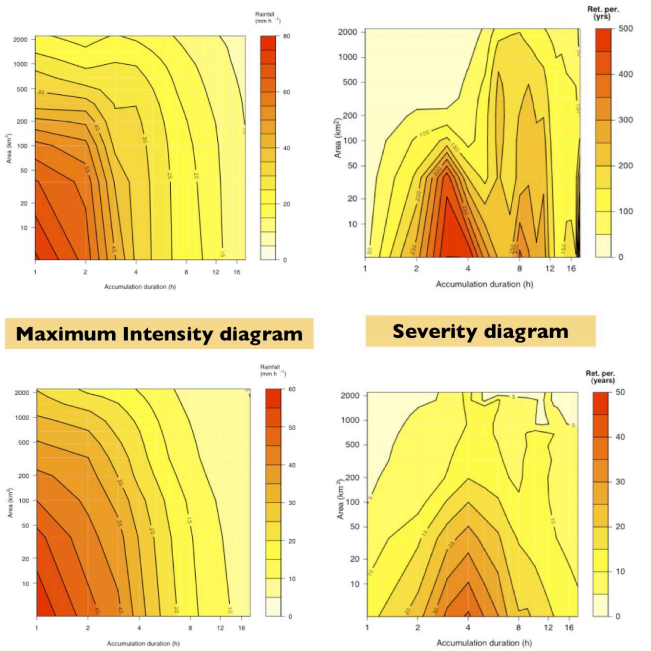


Figure 2 : (Haut) Diagrammes élaborés avec les pluies observées ; (Bas) Diagrammes élaborées avec les pluies simulées
a) Diagramme des intensités maximales ; b) Diagramme de sévérité

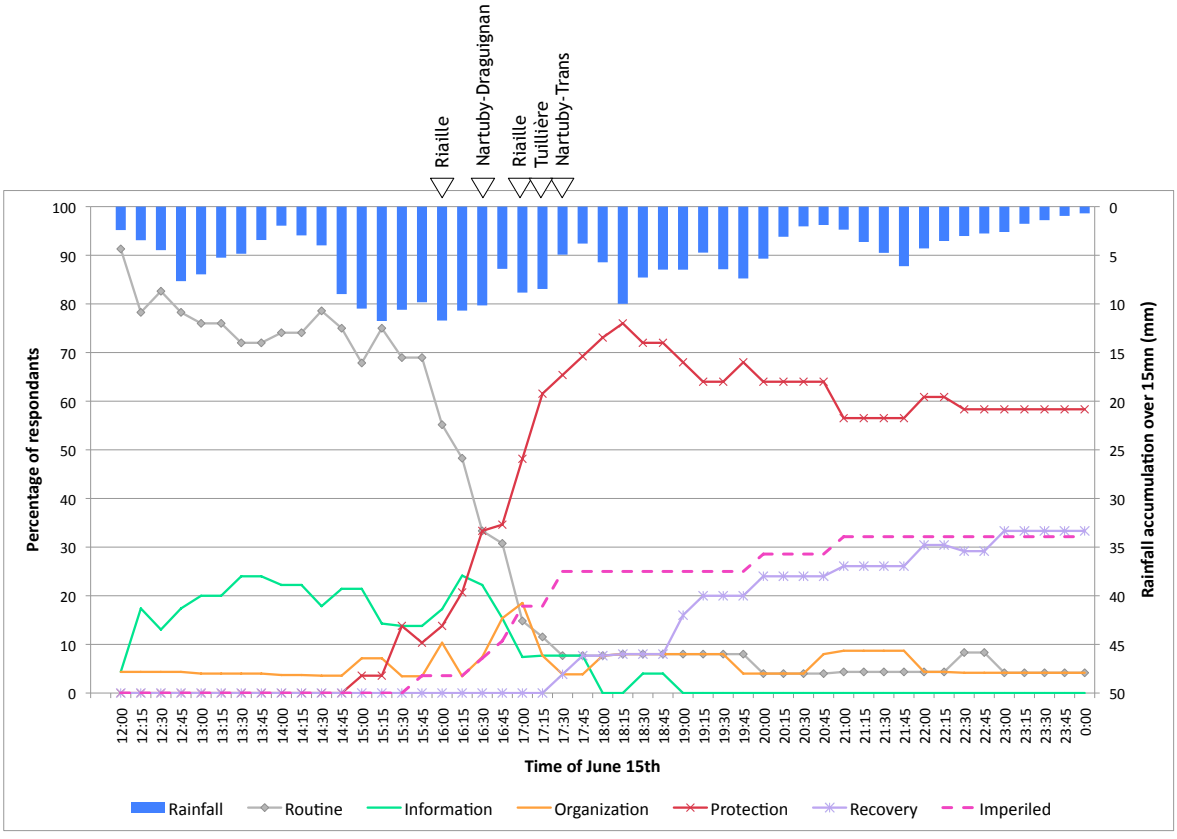
A-HMCI-4 Extrêmes hydro-météorologiques et réponses humaines: Une stratégie de retour d'expérience interdisciplinaire

Ruin et al., 2014

Comment les populations répondent-elles aux alertes « inondations » et « précipitations intenses » ? Comment adaptent-elles leurs activités quotidiennes à l'évolution rapide des circonstances environnementales ? De telles questions nécessitent de prendre en compte les interactions dynamiques entre les variables hydro-météorologiques, les représentations mentales et la perception que les protagonistes en ont et les réactions que cela suscite chez eux. **Si ces processus sociaux et physiques sont amplement étudiés par différentes disciplines, ils sont rarement étudiés de façon conjointe ou sur la base de données empiriques issues de situations réelles dans un environnement non contrôlé**. En effet, la collecte simultanément des données physiques et sociales à des résolutions spatiale et temporelle fines permettant une analyse couplée pose des problèmes méthodologiques, notamment quand il s'agit de traiter d'événements extrêmes difficile à observer.

Pour s'attaquer à ce problème de collecte de données, nous **proposons une stratégie de retour d'expérience post-inondation** sur la base de méthodes de reconstitution des débits développées par les hydrologues et de méthodes d'analyse des pratiques de mobilités employées par les géographes. Une **grille d'entretien semi-directif structurée** autour d'une frise chronologique, permet d'inviter les acteurs et témoins de l'événement à relater les circonstances dans lesquelles leurs activités ont été perturbées par les conditions environnementales.

Cette méthode de retour d'expérience a été appliquée suite aux crues du 15 juin 2010 qui ont causé le décès de 26 personnes dans la région de Draguignan dans le département du Var. L'analyse des données collectées selon cette méthode permet de comparer la dynamique des réactions individuelles face à l'évolution des circonstances hydro-météorologiques (cf. figure). Ainsi lors de cet événement, même si la vigilance orange de Météo France était activée depuis la veille, plus de 90% des personnes interrogées ont indiqué avoir poursuivies normalement leurs activités habituelles jusqu'au début des fortes précipitations.
La transition d'activités routinières inchangées vers la recherche d'information, l'organisation pour faire face aux circonstances puis la mise en protection ne s'est faite progressivement que pour un petit tiers des victimes interrogées. En fait la grande majorité des personnes interrogées ont mis en place des actions de protection dans l'urgence quelques minutes seulement avant les pics de crues dans les rivières près desquelles elles se trouvaient. Ainsi, si ce comportement peut être interprété comme un manque de temps pour réagir dans les très petits bassins versants (< 20 km²) au temps de réponse très court (< 30 min), il est plus surprenant dans des bassins plus grands tels que celui de la Nartuby à Draguignan et Trans en Provence (200 km²) dont le temps de réponse est plus grand. Un autre résultat intéressant montre une relation temporelle entre les réactions de protections et l'intensité des pluies (estimées par radar), le nombre de personnes en situation de protection atteignant des sommets aux mêmes horaires que les pics de pluie.



A-HMCI-5 Représentation multi-échelles de l'anticipation des crues rapides.

Creutin et al. 2013

Nous partons d'abord de l'idée que les pics de crue dans les rivières constituent des pics de danger pour les populations localisées à proximité. Ainsi, nous proposons d'évaluer ce que nous appelons un temps d'anticipation correspondant à la différence entre l'horaire du pic de crue et celui de la mise en place d'une action de protection dans le bassin versant correspondant.

Sur les Fig.1 et Fig.2, nous choisissons de représenter dans le temps (ordonnée) et dans l'espace (abscisse) 57 actions humaines élémentaires issues de l'analyse secondaire de données provenant de 5 campagnes d'entretiens post-inondation. La forme des symboles indique si l'action relève de la prise d'information (rond), de l'organisation de la réponse (carré) ou de l'action de protection (triangle). La couleur des symboles indique si l'action est menée par un individu (rouge), par un groupe d'individus (jaune) ou une institution (vert).

La méthode proposée suppose par ailleurs que la réaction de la population à une crue (réponse individuelle ou de groupes plus ou moins importants) est proportionnée au rythme de la crue que nous assimilons au temps de montée des eaux à l'exutoire du bassin. Ce temps est lui même relié de manière classique à la surface du bassin par une loi puissance – des bassins de 2 à 200 km^2 réagissent typiquement en 15 à 90 minutes (Courbe continue Fig.2).

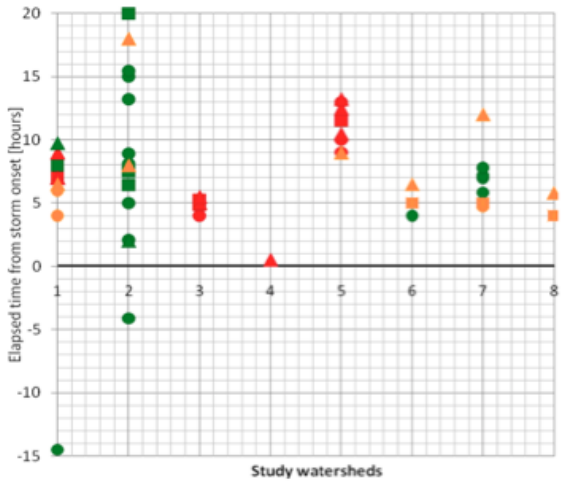


Figure 1: Temps de réponse de 57 actions humaines réalisées sur 8 bassins (axe des abscisses numéro de 1 à 8)

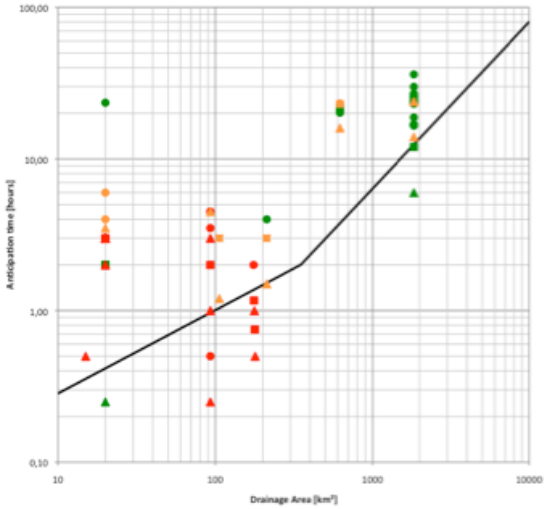


Figure 2: Temps de réponse de 57 actions humaines en fonction de la taille des bassins versants où ces actions ont été menées.

Fig.1 représente les horaires des 57 actions humaines réalisées dans 8 bassins versants différents (axe des x) et rapportées à une même origine temporelle (y=0 représentant l'heure des pics de crue dans chacun des bassins versant). Ces actions apparaissent comme très disparates à la fois en terme de durée totale et d'espacement des actions (rythme).
Lorsque ces 57 actions sont reportées sur la Fig.2 par rapport à la surface du bassin versant amont et donc par rapport à la vitesse de réponse des différents bassins, les actions élémentaires sont réparties de manière plus homogène couvrant ici un écart de deux ordres de grandeurs entre réaction la plus rapide et la plus lente.

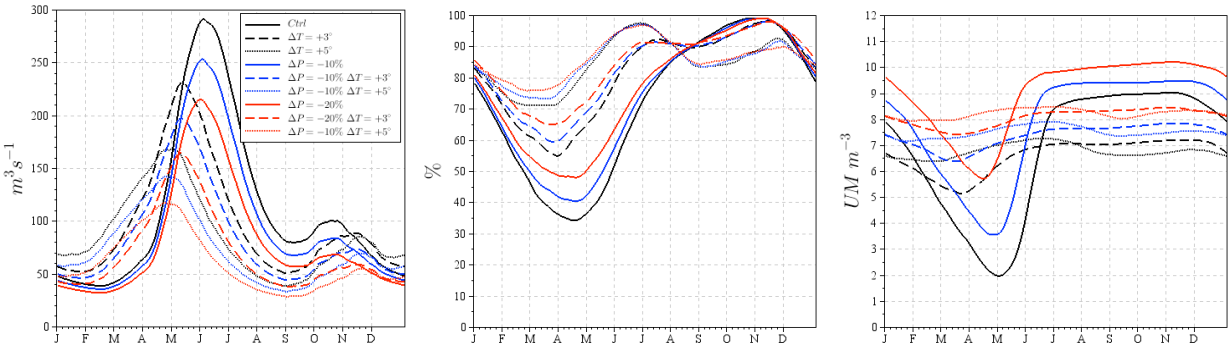
A-HMCI-6 Les valeurs de l'eau de stockage : une signature climatologique du déséquilibre temporelle entre ressource et demande.

Thèse François (2013) ; François et al. (révision)

Les bassins de montagne fournissent la majeure partie du potentiel européen pour la production d'hydroélectricité. La plupart des barrages alpins ont été initialement implantés pour gérer, par des opérations de stockage/déstockage, la forte inadéquation temporelle entre cette ressource et la demande correspondante. Aujourd'hui, les variations de stock visent à atteindre, sous diverses contraintes, le meilleur équilibre socio-économique possible entre ressource et demande, pour satisfaire aussi différents autres usages de la ressource, souvent en compétition (irrigation, loisir, mitigation des étiages et des inondations).

L'organisation temporelle, sur la période considérée, du schéma optimal de stockage constitue une signature classique de l'adéquation entre la ressource et la demande, pour le contexte socio-climatique considéré. L'identification du schéma optimal de stockage pour un contexte donné peut être réalisée a posteriori grâce à la programmation dynamique déterministe. Cette technique d'optimisation permet aussi d'estimer la valeur économique marginale de l'eau stockée dans le réservoir. Nous montrons que l'organisation temporelle de la valeur de l'eau de stockage fournit une signature additionnelle très informative permettant de mieux comprendre la signature de stockage optimal et de mettre en évidence les différents facteurs qui la déterminent, dont l'inadéquation temporelle entre ressource et demande.

Cette approche a été développée et appliquée dans le projet ANR RIWER2030 pour estimer l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin supérieur de la Durance et sur la gestion d'une configuration simplifiée du barrage de Serre-Ponçon (http://www.lthe.fr/RIWER2030/). Les signatures de stock et de valeur de l'eau ont été déterminées sous différents scénarios hydro-climatiques futurs régionaux (modification du climat régional, v. Encadré A-HMCI-10 + modification de l'intensité des usages). Elles montrent que l'inadéquation temporelle entre ressource et demande est très sensible au scénario. Elles suggèrent qu'il sera nécessaire de modifier considérablement la stratégie de gestion de l'ouvrage à l'horizon 2050, e.g. par un démarrage anticipé de la phase de remplissage printanière du fait de l'avancée de l'onde de fonte nival et de l'augmentation de la demande estivale en hydroélectricité (climatisation).



Gauche : Régimes hydrologiques actuel et futurs de la Durance supérieure sous divers scénarios de précipitation (ΔP) et de température (ΔT) ;
Milieu : Signatures de stockage optimal;
Droite: Signatures des valeurs de l'eau correspondantes pour un niveau de remplissage moyen de la retenue.

A-HMCI-7 Evaluation du cycle diurne des précipitations convectives dans le modèle LMDZ

Thèse Sané (2011) ; Sané et al., 2012

Dans le cadre d'une thèse effectuée en collaboration étroite avec le LMD, le cycle de vie des systèmes convectifs a été étudié pour la période de la campagne AMMA, en s'attachant à évaluer le cycle diurne des précipitations convectives.

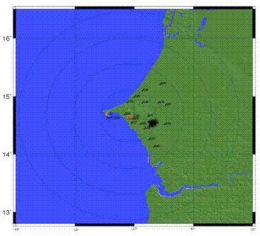
La région de mousson ouest africaine est caractérisée par une variabilité interannuelle très marquée des pluies. Les précipitations de mousson sont en fait la résultante de systèmes pluvieux de plus petite échelle (orages isolés, systèmes convectifs de méso-échelle, lignes de grains) et il a été montré que la variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le Sahel est liée à la baisse du nombre d'évènements convectifs, alors que l'intensité des évènements convectifs reste en moyenne inchangée (Le Barbé et Lebel, 1997 ; Le Barbé et al, 2001).

La gamme d'échelles spatiales impliquée rend particulièrement complexe la modélisation de la mousson africaine. Beaucoup de progrès ont été réalisés ces dernières années dans le développement de ces paramétrisations et les modèles sont capables de représenter de façon relativement correcte les caractéristiques moyennes du système de mousson. Ces modèles ont en revanche été très peu évalués dans leur capacité à représenter de façon réaliste le système convectif de méso-échelle. La bonne représentation de ces systèmes est pourtant un enjeu à deux titres : d'abord parce que l'organisation en systèmes conditionne la distribution spatio-temporelle locale des pluies, et que la bonne représentation de cette distribution est essentielle pour les études d'impact sur l'agriculture ; ensuite, parce que la variabilité du système de mousson est conditionnée par la variabilité du nombre de ces évènements convectifs.

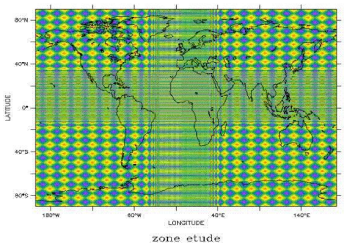
Un des objectifs était d'évaluer le modèle LMDZ avec une nouvelle paramétrisation des poches froides (Rio and Hourdin, 2008), nouvelle physique pour représenter l'effet du courant de densité associé aux systèmes convectifs de mésoéchelle. Le jeu de données collectées pendant la campagne d'observation AMMA sur Dakar (Sénégal) a permis de faire cette étude de validation et en particulier, d'évaluer le cycle diurne des précipitations convectives associées à ces systèmes (Sané et al., 2012).

Le cycle diurne des précipitations

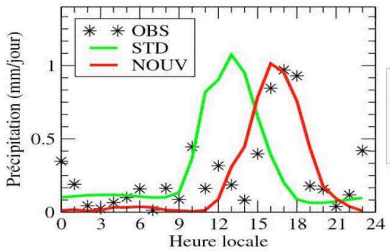
Réseau d'observations
Campagne AMMA



LMDz en mode zoomé guidé
sur l'Afrique de l'Ouest



Evolution moyenne de la pluie dans la journée au Sénégal



Décalage du cycle diurne de la convection orageuse continentale confirmée

Thèse Youssouph Sane

Une étude de sensibilité entre deux schémas de convection a montré que la nouvelle "paramétrisation" de la convection orageuse dans LMDZ, prenant en compte explicitement les "poches froides" créées sous les nuages par ré-évaporation des pluies convectives permet d'améliorer nettement le cycle diurne des pluies convectives, en accord avec les observations. Généralement, ces pluies se produisent beaucoup trop tôt dans les modèles, vers 12h, en phase avec l'insolation alors que dans la région sahélienne, ces pluies convectives apparaissent dans la soirée. Une fois la convection profonde démarrée, les poches froides formées dans les basses couches, refroidissent et humidifient la basse couche. Dès qu'elles sont formées, les poches froides fournissent suffisamment d'énergie pour entretenir la convection profonde jusque tard dans la soirée, même après l'extinction des thermiques, et la puissance de soulèvement supplémentaire contribue à retarder le maximum d'intensité de la convection profonde en fin de journée. Ce résultat montre que les interactions entre la surface et l'atmosphère doivent être proprement décrits afin de reproduire la dynamique convective et l'entretien de la convection profonde.

A-HMCI-8 Modélisation de la structure verticale de la turbulence optique en milieu naturel.

Thèses Pianezze (2013) ; Pianezze et al. (révision)

Le **couplage des processus de surface avec la dynamique de l'atmosphère est une source d'incertitude importante notamment lorsqu'il s'agit de développer des modélisations numériques qui rendent compte de l'hétérogénéité surfaces continentales**. Quelles que soient les échelles atmosphériques considérées, la dynamique de l'atmosphère sera sensible aux forçages surfaciques des plus petites échelles dont il faudra rendre compte à travers des lois d'échelles et/ou de paramétrisations afin de restituer les variabilités « sous maille ». Dans ce contexte, notre démarche scientifique s'appuie sur la modélisation atmosphérique pour i) **caractériser la variabilité des flux de surface turbulents** au-dessus des surfaces naturelles et ii) **analyser la sensibilité des systèmes précipitants** aux variations de surface. Ces études sont menées avec l'équipe HyBIS et ont pour objectif de progresser dans la **compréhension des processus de couche limite atmosphérique où les hétérogénéités de surface sont importantes et où l'orographie impose sa signature sur la dynamique des basses couches de l'atmosphère**. Ces processus, conditionnés par la variabilité des flux turbulents, sont étudiés ici via le paramètre de structure des fluctuations de température (C_{T^2}) et de l'indice de réfraction de l'air (C_{n^2}).

Pour cela, un scintillomètre virtuel a été développé (Pianezze, M2R, 2009) et permet ainsi de calculer la donnée scintillométrique instantanée, C_{n^2}, à partir des diagnostiques LES fournis par le modèle et de la comparer directement avec les observations.

Nous utilisons les données scintillométriques (C_{n^2}) issues de la campagne VOTALP (1996) menée dans la vallée des Grisons dans le Sud de la Suisse (Fig.1d).

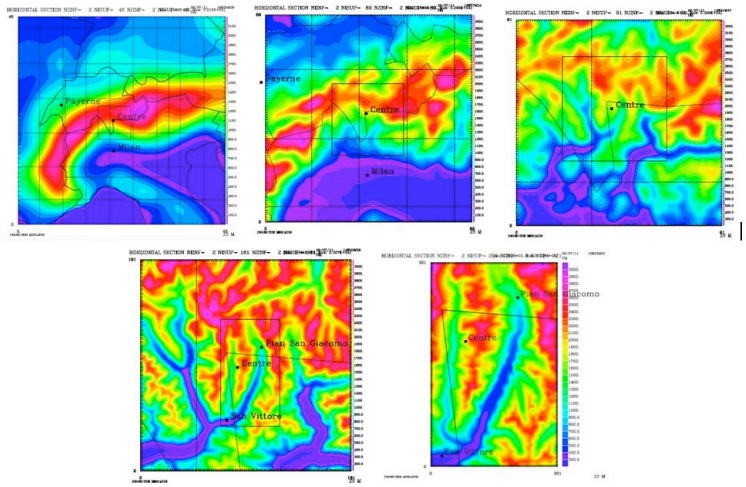


Figure 1 : 5 domaines de simulation pour représenter la dynamique atmosphérique dans la vallée VOTALP (Fig1d). Les résolutions sont respectivement 16km, 4km, 1km, 340m et 110m.

Le modèle MesoNH a été implémenté sur les 5 domaines de simulation (Fig.1) communiquant en interaction "two-way" pour les domains 1, 2 et 3, puis en mode "one-way" pour les domaines 4 et 5.

A partir des champs thermodynamique simulés, on calcul, offline, les paramétres de structure de fluctuation de la temperature et de l'humidité, ainsi que l'indice de refraction de l'air (Fig.2). Puis, le Cn2 est moyenné avec une function poids le long de la trajectoire du scintillomètre, et compare aux observations (Fig.2).

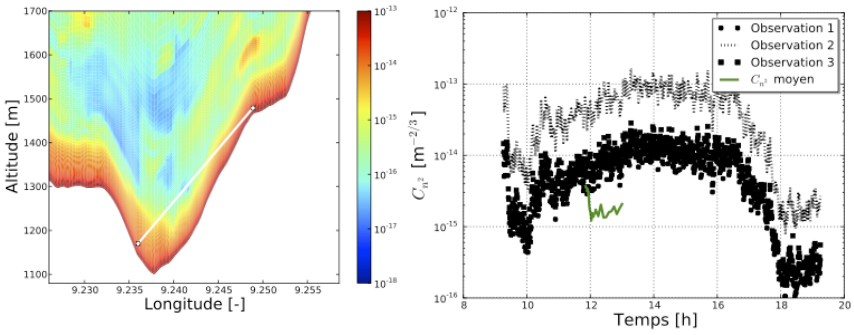


Figure 2: (gauche) Structure 3D du Cn2 simulé. La ligne blanche indique le trajectoire du scintillomètre. (droite) Comparaison des Cn2 observés et "simulés moyennés le long du scintillomètre.

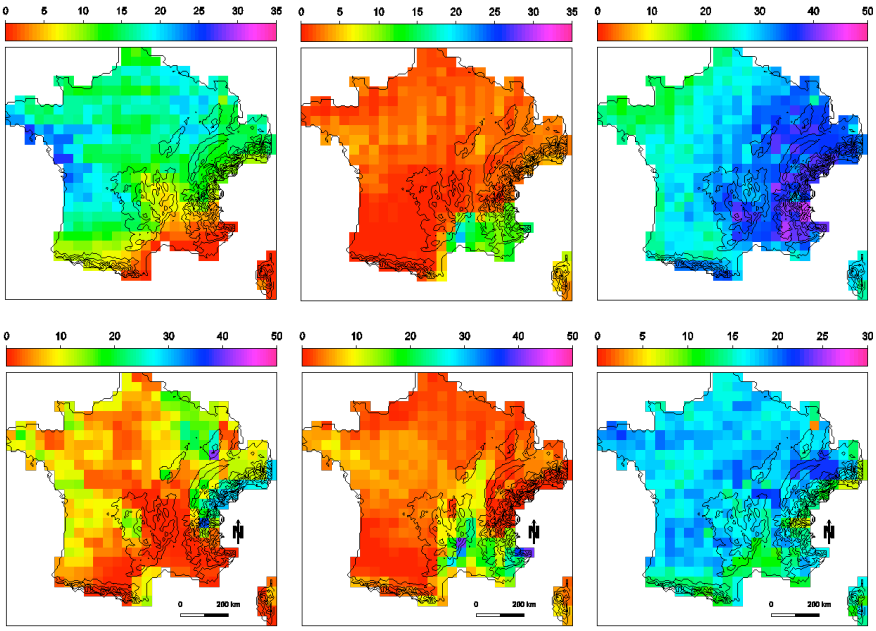
A-HMCI-9 Variabilité spatiale du pouvoir explicatif de différents prédicteurs atmosphériques pour l'estimation des précipitations journalières sur le territoire français

Mezghani et al., 2014

Les études régionales de l'impact du changement global nécessitent des scénarios climatiques régionaux à haute résolution temporelle et spatiale. Les méthodes de descente d'échelle statistique sont fréquemment utilisées pour générer ces scénarios. Elles utilisent les liens d'échelle statistique identifiés sur le climat récent entre différents prédicteurs atmosphériques de grande échelle et les variables météorologiques de surfaces régionales cibles. Le pouvoir explicatif d'un prédicteur, évalué par la capacité prédictive du lien d'échelle obtenu avec ce prédicteur, a été exploré pour l'estimation des précipitations journalières locales en France (extraites des réanalyses SAFRAN).

Une vingtaine d'indices atmosphériques ont été sélectionnés parmi ceux utilisés pour des études similaires réalisées sur d'autres régions européennes. Ils caractérisent la circulation et/ou l'état thermodynamique de l'atmosphère au pas de temps journalier. Le pouvoir explicatif de chaque prédicteur présente une très bonne cohérence spatiale et des signatures régionales très contrastées. Pour l'occurrence des précipitations par exemple, la composante méridienne du vent à 700 hPa a un pouvoir explicatif prépondérant sur le pourtour méditerranéen, alors que la composante zonale du vent à 700 hPa joue un rôle important sur le reste du territoire. Ces travaux illustrent aussi l'intérêt des variables d'humidité. Le potentiel explicatif de l'humidité relative à 700hPa par exemple, surpasse celui des indices atmosphérique dynamiques pour toutes les régions françaises et les zones de montagnes en particulier.

Pour la hauteur des précipitations quotidiennes, le pouvoir explicatif des prédicteur est du même ordre de grandeur que celui obtenu pour les occurrences. La cohérence spatiale est moins prononcée mais les signatures régionales sont similaires. Les prédicteurs les plus intéressants pour la construction d'un lien d'échelle devraient donc idéalement dépendre de la région d'intérêt.



Pouvoir explicatif (variance expliquée par le lien d'échelle) de différents prédicteurs pour l'occurrence des précipitations journalières (haut) et les hauteurs précipitées (bas). Gauche : vent zonal, milieu : vent méridien et droite : humidité relative de l'air à 700 hPa. Echelle en % de variance expliquée (modèle parfait à 100%) ; précipitations SAFRAN agrégées sur une grille de 40*40km ; 1982 – 2001.

A-HMCI-10 Incertitudes liées aux modèles et à leur variabilité interne dans un ensemble de projections hydroclimatiques. Sources et quantification.

Lafaysse et al. (2014) ; Hingray and Saïd (2014) ; http://www.lthe.fr/RIWER2030/

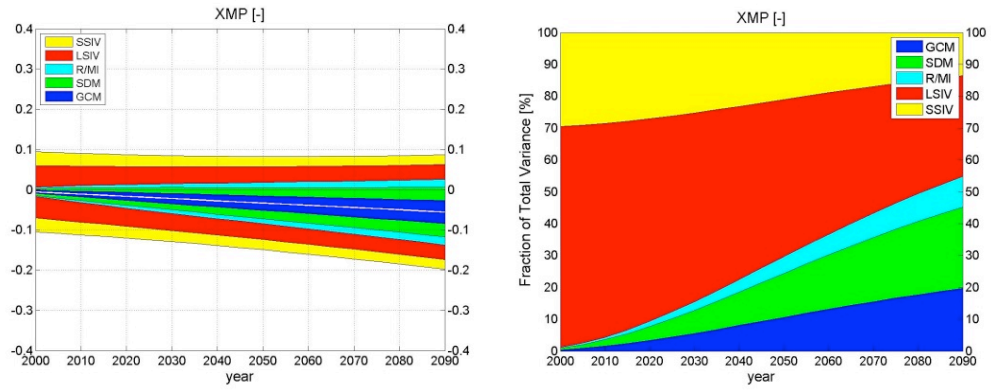
Les incertitudes associées aux projections climatiques sont classiquement évaluées sur la base d'un ensemble de projections multi-scénarios, multi-modèles et multi-réalisations (plusieurs réalisations pour une même chaîne de modèles). Cette approche a été appliquée dans le projet ANR RIWER2030 pour estimer l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin supérieur de la Durance et sur la gestion de la ressource en eau associée. Les projections ont été réalisées pour la période 1860-2100 avec différentes chaines de simulations obtenues pour 5 GCM du projet européen ENSEMBLES (avec plusieurs runs pour 3 d'entre eux), différentes versions de 3 Modèles de Descentes d'Echelle Statistique (MDES) (analog (EDF), dsclim (CERFACS), d2gen (LTHE), avec 100 réalisations pour chacune d'entre elle), 3 Modèles Hydrologiques (MH) et 3 Modèles de Gestion de la ressource développés pour RIWER2030 (Hingray et al., 2013 ; François, 2013 ; Lafaysse et al., 2014).

L'enjeu consiste à quantifier les incertitudes associées à ce type d'ensemble de projections. Cela permet en particulier d'estimer la significativité des changements projetés au vu de la variabilité interne du climat, d'identifier les sources d'incertitude principales et d'évaluer la possibilité de les réduire. Cette quantification n'est pas triviale, en particulier lorsque la variabilité interne des modèles est importante au regard de la réponse climatique simulée et/ou lorsque l'ensemble de projections à disposition est non équilibré.

Le cadre statistique se base sur l'hypothèse de quasi-ergodicité pour les simulations climatiques transitoires. Simple et robuste, il permet de séparer et quantifier les différentes sources d'incertitude d'un tel ensemble en particulier : les composantes grande et petite échelle de la variabilité interne des modèles, les composantes de l'incertitude modèle liées à chaque type de modèle (MGC, MDES, MH). Il a été appliqué aux projections RIWER2030 pour différentes échéances de projection et différentes variables hydroclimatiques (Lafaysse et al., 2013).

Pour les températures, si l'incertitude liée au GCM domine, celle liée au MDES est non négligeable contrairement à l'incertitude liée à la variabilité interne des modèles. Un réchauffement significatif et par suite des changements significatifs du couvert neigeux, des pertes par évaporation et de la saisonnalité des débits à l'exutoire du bassin sont obtenus. Pour les précipitations, l'incertitude liée au GCM et au MDES sont équivalentes. Malgré une incertitude « modèle » importante, la réponse climatique des chaînes de simulation est significativement non nulle et une baisse des précipitations annuelles moyenne est attendue. Cependant, de larges valeurs sont obtenues pour les composantes grande et petite échelle de la variabilité interne héritées respectivement des GCM et des différentes réalisations d'un MDES donné. La même chose est obtenue pour les débits annuels. De ce fait, l'incertitude sur les valeurs qui pourraient être observées pour une période future donnée est très importante, le signe du changement des futures réalisations étant lui-même incertain à 90%.

De même que pour les GCM, l'incertitude sur les MDES ne peut donc pas être négligée. La même chose s'applique pour les 2 composantes de la variabilité interne des modèles. Les études d'impact basée sur une réalisation unique d'un MDES donné sont susceptibles d'être aussi peut pertinentes que celle basées sur un run unique d'un GCM donné (ou un ensemble réduit). Lorsque de telles études sont sensées informer sur les adaptations à envisager, elles sont susceptibles de conduire à des décisions erronées. Dans le cas présent, il serait plus pertinent de s'adapter à la variabilité naturelle des précipitations qu'à une baisse attendue de ces dernières. Les incertitudes liées au modèle hydrologique et au modèle de gestion de la ressource se sont aussi avérées non négligeables au regard des incertitudes mentionnées ci-dessus (François, B. 2013).



(Gauche) Changements de précipitations annuelles moyennes sur 20 ans en fonction de l'échéance de projection (période de référence 1980-1999). (Droite) Proportion de l'incertitude totale expliquée par chaque source d'incertitude : GCM (bleu foncé) ; SDM (vert) ; interaction GCM/MDES (R/MI, cyan), variabilité interne grande échelle (LSIV, rouge) et petite échelle (SSIV, jaune) associées à chaque chaîne GCM/MDES.